

Univerzita Karlova  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie  
Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Petr Pagáč

**Změny erozního ohrožení a intenzita vodní eroze půdy  
v povodí Odlezelského jezera**

**Changes of erosion risk and water soil erosion intensity  
in the Odlezelské Lake catchment**

*Diplomová práce*

Praha 2019

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Zdeněk Kliment, CSc.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vytvořil samostatně a že jsem veškeré použité zdroje literatury a dat řádně citoval. Tato práce ani její podstatná část nebyla použita k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 27. 7. 2019

Bc. Petr Pagáč

### **Poděkování:**

Velice rád bych poděkoval doc. RNDr. Zdeňkovi Klimentovi, CSc. za odborné vedení a korektury mé práce, za cenné rady a připomínky při konzultacích. Dále si vážím pomoci od Ing. Jana Bauera Ph.D. a Mgr. Hany Beitlerové, kteří mi poskytli technické informace o aplikaci modelu WaTEM/SEDEM a přispěly svou zkušeností z praxe. V neposlední řadě děkuji Ing. Jiřímu Brychtovi za výpočet R faktoru pro sledované území. Také moc děkuji za podporu rodině, která mi byla velikou oporou v průběhu celé doby studia.

# **Zadání diplomové práce**

## **Název práce**

Změny erozního ohrožení a intenzita vodní eroze půdy v povodí Odlezelského jezera.

## **Cíle práce**

Cílem práce je zhodnotit podmínky pro vodní erozi a kvantifikovat změny erozního ohrožení a intenzity vodní eroze pro vybrané scénáře land use se zaměřením na období kolektivizace českého zemědělství a postsocialistický vývoj.

## **Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje**

Práce bude zahrnovat rešeršní a aplikační část. Rešeršní část bude zaměřena na problematiku změn land use a jejich vlivu na výskyt a intenzitu vodní eroze ve vztahu ke sledovanému období a možnostem hodnocení dané problematiky. Zájmovým územím bude povodí Odlezelského jezera. Práce naváže na dosavadní výzkum a poznatky o zanášení jezera a poznatky o monitoringu plavenin. Hlavní částí bude aplikace erozního modelu WaTEM/SEDEM, jehož některé vstupy byly řešeny v předchozí bakalářské práci. Pro analýzu změn land use budou využity historické mapové podklady, ortofoto snímky, výsledky dřívějších průzkumů pěstovaných zemědělských plodin a vlastního terénního mapování. Dále se předpokládá využití DMT, geoportálu SOWAC-GIS, dat z vlastní automatické meteorologické stanice v Žihli a hydrologické stanice na profilu v Přehořově. V závěrečné diskuzi je očekávána konfrontace a diskuze výsledků s dosavadními výsledky výzkumu v povodí Odlezelského jezera a se zjištěnými poznatky z literatury.

Datum zadání: 17. 1. 2017

Jméno studenta: Bc. Petr Pagáč

Podpis studenta: .....

Jméno vedoucího práce: doc. RNDr. Zdeněk Kliment, CSc.

Podpis vedoucího práce: .....



## ABSTRAKT

Vodní eroze v Česku je významný jev, který degraduje a vážně poškozuje zemědělské plochy po celém území republiky. Je ovlivněna mnoha faktory, jenž se od 50. let 20. století měnily. K hodnocení intenzity eroze se užívají nejrůznější metody. V Česku je nejpoužívanější rovnice USLE (univerzální rovnice ztráty půdy), která je základním stavebním kamenem modelu použitým v této práci. Pomocí modelu WaTEM/SEDEM jsem kvantifikoval a lokalizoval vodní erozi v povodí Odlezelského jezera pro jednotlivé scénáře změn využití půdy. Výsledky poukazují na vážnost vodní eroze ve vztahu k hospodaření v krajině, jelikož modelovaná intenzita eroze v roce 2018 je téměř totožná jako v období kolektivizace. Výsledky modelování jsou konfrontovány se změnami jednotlivých vstupních faktorů, s naměřenými daty plavenin v Mladotickém potoce a dosavadními poznatky o zanášení jezerní pánve.

**Klíčová slova:** vodní eroze, modelování eroze, WaTEM/SEDEM

## SUMMARY

Water erosion in the Czech Republic is the largest phenomenon that degrades and seriously damages agricultural areas throughout the country. It is influenced by many factors that have changed since the 1950s. Various methods are used to assess the intensity of erosion. In the Czech Republic, the USLE (Universal Soil Loss Equation) is the most widely used equation, which is the cornerstone of the model used in this work. I quantified and localized water erosion in the Odlezel lake basin for individual scenarios of land use change using the WaTEM / SEDEM model. The results show the seriousness of water erosion in relation to landscape management, as the modeled intensity of erosion in 2018 is almost the same as in the period of collectivization. The results of modeling are confronted with changes of individual input factors, with measured data of river sediment export in the Mladotický brook and up to date knowledge about clogging of the lake basin.

**Key words:** water erosion, modeling erosion, WaTEM/SEDEM

# Obsah

1	Úvod a cíl práce .....	7
2	Literární rešerše.....	9
2.1	Eroze půdy a její dopady se zaměřením na vodní erozi.....	9
2.1.2	Eroze v České republice .....	13
2.2	Modelování eroze půdy a transportu plavenin .....	15
2.2.1	Obecná charakteristika a dělení modelů .....	15
2.2.2	Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE) a vstupující faktory .....	16
2.2.3	Transport plavenin .....	18
2.2.4	Depozice materiálu ve vodních nádržích .....	19
2.3	Model WATEM/SEDEM.....	20
2.3.1	Charakteristika modelu .....	20
2.3.2	Základní výpočetní metoda modelu WaTEM/SEDEM .....	21
2.3.3	Vstupní data.....	22
2.3.4	Výstupní data.....	25
2.3.5	Uživatelské rozhraní modelu .....	25
2.3.6	Užití a verifikace modelu ve světě a v Česku.....	26
3	Charakteristika zájmového území .....	28
3.1	Geologie a geomorfologie .....	29
3.2	Klimatické poměry.....	33
3.3	Hydrologické poměry.....	34
3.3.1	Odlezelské jezero .....	34
3.4	Půdní poměry.....	36
3.5	Využití ploch (land-use).....	38
3.5.1	Využití území v povodí Odlezelského potoka.....	40
3.5.2	Využití území v povodí Potvorovského potoka .....	42

3.5.3 Využití území v povodí stanice Přehořov .....	43
4 Metody a datové zdroje .....	46
4.1 Postup zpracování vstupních vrstev do modelu WaTEM/SEDEM .....	46
4.2 DMT – digitální model terénu .....	47
4.3 Mapa parcel (Parcel map).....	47
4.4 Říční síť a vodní plochy (River routing a Ponds) .....	48
4.5 C faktor (ochranný vliv vegetace) .....	50
4.6 K faktor (faktor erodovatelnosti půd) .....	52
4.7 R faktor (faktor erozní účinnosti deště) .....	54
4.8 Nastavení parametrů a validace výsledků modelu.....	55
5 Výsledky .....	57
5.1 Hlavní výsledky v povodí Odlezelského jezera.....	57
5.2 Výsledky modelování v povodí Odlezelského potoka.....	59
5.2.1 Množství plavenin v povodí Odlezelského potoka.....	62
5.2.2 Depozice ve vodních nádržích.....	63
5.2.3 Porovnání výsledků se vstupními daty.....	64
5.3 Výsledky modelování v povodí Potvorovského potoka.....	65
5.3.1 Množství plavenin v povodí Potvorovského potoka.....	68
5.3.2 Porovnání výsledků se vstupními daty.....	70
5.4 Výsledky modelování v povodí stanice Přehořov .....	73
5.4.1 Množství plavenin v povodí přehořovské stanice.....	77
5.4.2 Depozice ve vodních nádržích.....	79
5.4.3 Porovnání výsledků se vstupními daty.....	80
5.5 Sledování erozních procesů v povodí .....	83
6 Diskuze .....	86
7 Závěr .....	89
8 Seznam literatury a datových zdrojů .....	90

8.1 Ostatní zdroje.....	95
8.2 Použitý software .....	96
8.3 Seznam obrázků.....	96
8.4 Seznam tabulek.....	98
8.5 Seznam grafů .....	99
8.6 Seznam zkratk.....	100

# 1 Úvod a cíl práce

Půda je základním přírodním bohatstvím patřícím mezi neobnovitelné přírodní zdroje. Je základním kamenem životního prostředí, ve kterém plní mnoho důležitých funkcí, například tvoří základní výrobní prostředek v lesnictví a zemědělství, je také významnou součástí v rozvoji sídel, infrastruktury a četnosti biodiverzity.

Proměny krajiny v časovém měřítku se archivují a zapisují do půdního krytu, jenž je ovlivněn antropogenní činností (EEA 2019, VÚMOP 2018). Na půdu působí degradační procesy, které vedou k omezení nebo ztrátě schopnosti tvořit produkční a mimoprodukční funkci. Ve střední Evropě ovlivňují půdní kryt zejména vodní a větrná eroze, acidifikace, utužení a znečištění (VÚMOP 2018). Tyto procesy jsou umocněny antropogenní činností, jenž postihuje v Česku 50 % orných ploch. Takto poškozené půdy ztrácí mocnost profilu, mění chemismus, fyzikální vlastnosti a snižují svou úrodnost (Janeček 2007).

V současné době jsou aktuální témata extrémů, jako jsou povodně, sucho či eroze. Nicméně dané procesy bychom měly uchopit mnohem komplexněji. Kromě sucha a vysokému úhrnu srážek je pro všestranný pohled důležitý také transport materiálu a vázaných rozpuštěných či nerozpuštěných látek, které se nekonzcentrují pouze v tocích, ale i na koncích svahů či hranicích pozemků.

Při hledání řešení ochrany před již zmíněnými extrémů se postupně dostáváme do začátků problematiky, týkající se celého sledovaného území. Pro efektivní řešení snížení extrémů není nutné radikální řešení či zákaz kulturního využívání půdy, spíše naopak. Pojmenování a lokalizace problému v jednotlivých částech povodí mohou společně s drobnými změnami v hospodaření v krajině dosáhnout větší efektivity (Bauer 2018).

Vlivem kolektivizace půd, probíhající od 50. let 20. století, spojené s dalšími změnami jako je mechanizace apod. jsme dnes „zdědili“ zemědělskou krajinu, kde 80 % orných ploch je pronajímáno zemědělci (Novotný a kol. 2017). Tímto jsme ztratili přirozenou ochranu vlastního majetku, která se předávala, mezi zemědělci před kolektivizací, po generace. Ochranu půd nyní musí převzít stát, který svou úlohu může plnit správně pouze, pokud bude mít k dispozici relevantní data a bude nadcházející problémy přesněji detekovat a lokalizovat. Tyto informace povedou k výběru vhodných opatření a vytvoření plánů ochrany krajiny.

Pro pochopení procesů spojených s erozí půdy existuje mnoho metod, mezi ně řadíme sledování v terénu, ale zejména použití matematických modelů, které ulehčují sledování a distribuci materiálu na velkých územích. Z příkladu modelů uvedu model WaTEM/SEDEM, který bude použit v této práci.

Tento model aplikuji v povodí Odlezelského jezera, ve kterém mohou výsledky napomoci k určení lokalit, kde dochází k největším ztrátám materiálu, mající podíl na zanášení jezera. Na Mladotickém potoce je několik let kontinuálně sledováno množství plavenin v toku. Výsledky modelování konfrontuji s naměřenými hodnotami plavenin.

Hlavním cílem práce je získat přehled o intenzitě eroze a akumulace v povodí Odlezelského jezera. K naplnění hlavního cíle je použit model WaTEM/SEDEM, který kalkuluje s relativně velkým množstvím vstupních faktorů. Správné vytvoření těchto faktorů je podmínkou pro splnění hlavního cíle práce.

Práce je rozšířena o modelování intenzity eroze pro jednotlivé scénáře v letech 1952, 1987, 1998 a 2018. To nám poskytne pohled a informace o vývoji způsobu hospodaření v krajině, které je úzce spjato s erozními procesy.

Mezi neméně důležité cíle práce patří vytvoření fyzicko-geografické charakteristiky sledovaného území, která je klíčová nejen pro tvorbu vstupních dat, ale napomáhá ke komplexnímu pochopení procesů v krajině.

Vedlejší cíle diplomové práce je kontinuální sledování erozních procesů v povodí spolu s modelováním depozice materiálu ve vodních nádržích a množstvím plavenin v tocích.

## 2 Literární rešerše

### 2.1 Eroze půdy a její dopady se zaměřením na vodní erozi

Slovo eroze pochází z latinského „erodere“ tedy rozrušení. Z překladu vychází definice týkající se eroze obecně. V publikaci autorů Zachara (1970) a Janečka (2005) se hovoří o rozrušování morfologie povrchu pohybujícími se exogenními činiteli (např. voda, vítr, led). Tento přírodní proces je přirozený a patří mezi základní krajinotvorné prvky, proto nelze jednoznačně označit za negativní. Dnes je však čím dál častěji tento proces ovlivněn antropogenní činností, například nevhodným hospodařením v krajině. To tvoří negativní důsledky, které vedou k narušení přírodních vazeb.

Exogenní činitelé nejprve rozrušují svrchní vrstvu litosféry, následně ji po povrchu či v atmosféře transportují a akumulují (Vitásek 1958). Tento nikdy nekončící proces vede k zarovnání zemského povrchu (planace). Mezi exogenní činitele řadíme vítr, sníh, led, zvětraliny, vodu, faunu a flóru. V publikaci Zachara (1970) mezi ně patří také slabé kyseliny rozpuštěné ve vodě vytvářející například škrapy.

Erozi lze klasifikovat podle několika klíčů, které popisují Vitásek (1958) a Buzek (1983). Můžeme ji členit dle intenzity na normální a zrychlenou. Normální lze chápat jako přirozený přírodní proces. Tato ztráta půdy je kompenzována pedogenezí. V ideálním případě zůstává mocnost půdního profilu stále stejná, nicméně dochází ke změně zrnitosti vymýváním jemnozrných částic u svrchní části půdního profilu (Holý 1994). Zrychlená eroze je antropogenně urychlena, proto je úbytek materiálu rychlejší než pedogeneze. Eliminace zrychlené eroze je jeden z cílů protierozní ochrany půdy, který se snaží přiblížit ke stavu normální eroze.

Další způsob členění je podle formy, která popisuje plošnou a lineární erozi. Plošná eroze popisuje smyv materiálu z plochy. Oproti tomu lineární eroze soustřeďuje odtok vody do jednotlivých drah a tvoří nejprve rýžky a brázdy, dále pak rýhy výmoly a strže. Lineární eroze nepřímo mění odtokové poměry a fragmentuje a znehodnocuje půdu (Kliment 2003).

Nejpoužívanější klasifikace je podle exogenního činitele, který danou erozi zapříčiňuje. Erozi dělíme na větrnou, vodní, antropogenní, ledovcovou a sněhovou. Nicméně v přírodním prostředí nikdy nepůsobí na povrch pouze jeden z činitelů, ale

několik najednou, proto je nutné při popisování a charakteristice eroze komplexní pohled. VÚMOP (2018) a Sklenářová (2008) v publikacích uvedli, že největší škody ve světě způsobuje větrná a vodní eroze, jenž je umocněna lidskou činností. Dále se práce zaměří zejména na vodní erozi.

U vodní eroze je základním činitelem dešťová kapka, která svou kinetickou energií narušuje povrch, tento proces označil ve své práci Buzek (1995) jako bombardování. Míra rozrušení dopadajícími kapkami je dána přítomností a strukturou vegetace, která povrch chrání (tzv. intercepce). Další faktorem je velikost a intenzita srážek a infiltrační schopnost půdy. Pokud úhrn srážek překročí schopnost půdy infiltrovat vodu, dochází k povrchovému odtoku, který zahájí transport materiálu ve směru sklonu svahu (Bedrna, Dlapa, Šarapatka 2002). Vodní eroze není ovlivněna jen srážkovým úhrnem, ale na celkové intenzitě se podílí mnoho faktorů napříč přírodním prostředím.

Přehled faktorů týkajících se erozních procesů (Janeček a kol. 2002):

- Klimatické a hydrologické (nadmořská výška, zeměpisná poloha, množství, rozdělení a intenzita srážek, povrchový odtok, teplota, oslunění, výpar, výskyt, směr a síla větrů),
- Morfologické (sklon území, délka a tvar svahů, expozice, návětrnost),
- Geologické a půdní (povaha horninového substrátu, půdní typ a druh, textura a struktura půdy, její vlhkost a zvrstvení, obsah humusu),
- Vegetační (hustota a délka trvání vegetačního pokryvu),
- Způsob obhospodařování půdy (poloha a tvar pozemků, směr a technologie obdělávání, střídání plodin).

Nedílnou součástí erozních procesů je transport erodovaného materiálu. Zde je klíčový sklon svahu a unášecí schopnost povrchového odtoku. V oblastech se snižujícím se sklonem postupem času dochází k akumulaci materiálu, který se třídí podle velikosti, respektive hmotnosti zrn. Nejdříve se ukládají hrubozrnné částice a jemnozrnné se transportují do nejvzdálenějších lokalit od místa vzniku. Pakliže se transportovaný materiál dostane do toku, stane se součástí plavenin. V místech kontaktu s vodním tokem se mohou tvořit dejekční kužely. Dále se částice mohou sedimentovat v hydrografické



síti, ve kterých se podílí na dalších procesech zanášení a snížení kvality vod (Janeček, 2002). V místě akumulace materiálu je ukončen erozní proces.

Vodní eroze na zemědělské půdě zhoršuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy (objemová hmotnost, vodní kapacita, infiltrační schopnost a další), snižuje mocnost půdního profilu, s transportem materiálu relokuje i potřebné živiny, a tím dochází k znehodnocení ornice, což se projeví na úrodnosti (Lal 2001). Degradace půdy mimo erozi přímo či nepřímo ovlivňuje hydrologické, geochemické i biologické procesy v krajině. Ve spojení se snížením produkční schopnosti může problematika v extrému ovlivnit i ekonomické a politické spektrum (Bauer 2018). S návazností na transportovaný materiál se zhorší situace ve vodních nádržích, ve kterých dochází k eutrofizaci a zrychlenému zanášení vodních ploch. Nejen že dochází ke snížení kapacity vodní nádrže, ale také se zhoršuje kvality vody, a mohou vznikat komplikace v lodní dopravě (Smith 2009).

K eutrofizaci vod dochází tehdy, když se zvýší obsah minerálních látek, zejména se jedná o dusík a fosfor. S přítomností těchto látek ve vodách se zvyšuje podíl biomasy. Ačkoliv je tento proces přirozenou součástí koloběhu živin a materiálu, při nadměrném přísunu dusíku a fosforu, pocházejících ze zemědělské činnosti, se zhoršuje kvalita vod (Langhammer 2002). Eutrofizace je charakteristická zelenou barvou vody s ojedinělým výskytem vodního květu (Obr. 2.2). Snižuje okysličení vody, mění pH, a tím ovlivňuje život organismů ve vodách (Langhammer 2002, Dostál 2007, Vysloužilová 2010). Příklady projevů vodní eroze a eutrofizace vod jsou zobrazeny na obrázcích 2.1 a 2.2.



Obrázek 2.1: Erozní odtok z orné plochy (plodina: kukuřice), dostupné online: <https://www.nase-voda.cz/financni-ztraty-vodni-eroze-dosahuji-temer-18-miliard-rocne/> (10. 5. 2018)



Obrázek 2.2: Příklad eutrofizace v CHKO Blanský les, dostupné online: <http://blanskyles.ochranaprirody.cz/cinnost-rp-jizni-cechy/ochrana-a-pece-o-vodni-ekosystemy/> (10. 5. 2019)

Vodní eroze dosahuje nejvyšších hodnot při extrémních přívalových deštích. Tyto extrémní srážky se objevují v jarních a letních měsících. Pokud jsou orné plochy v tomto období nedostatečně chráněny vegetací, může vodní eroze dosáhnout velkých rozměrů. To dokládá souvislost osevních postupů zemědělců s intenzitou eroze. Volba pěstované plodiny může výrazně přispět k erozi, či ji snižovat (VÚMOP 2018).

Mezi pěstované plodiny, které nedostatečně chrání zemědělskou půdu před vodní erozí, můžeme zařadit obecně širokořádkové plodiny, u kterých epizodní srážka dopadá přímo na nechráněný povrch. Příkladem pěstovaných plodin v ČR je kukuřice, vinná réva či chmel, zejména na Žatecku. Hodnoty vodní eroze jsou vyšší, pokud jsou širokořádkové plodiny vysety po spádnici a odtékající voda má v řádku prostor pro liniovou erozi (Bauer 2018).

### 2.1.2 Eroze v České republice

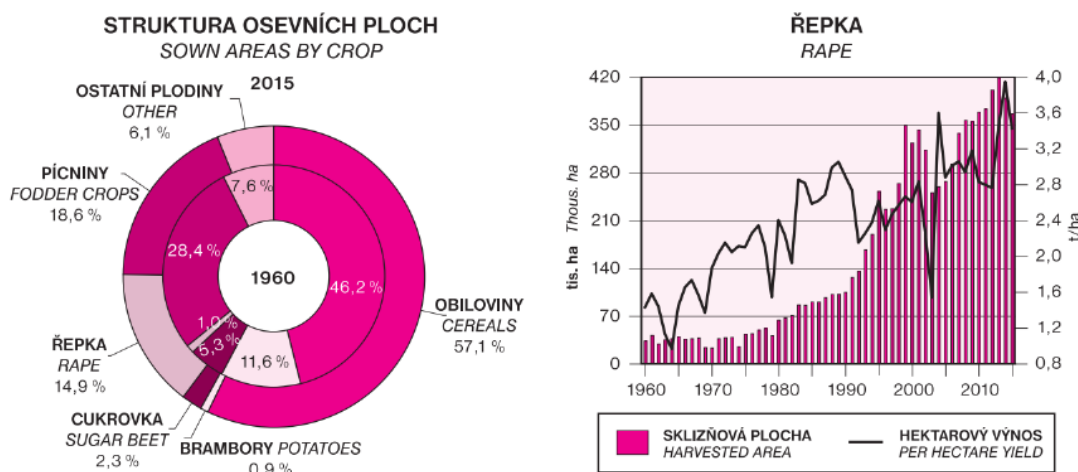
Česká republika je nejvíce ohrožena větrnou a vodní erozí. To má spojitost s mnoha problémy týkajícími se zemědělství a vodního hospodářství (Janeček a kol. 2012). Podle VÚMOP (2018) je v Česku ohrožena polovina zemědělské půdy vodní erozí a za posledních 30 let se vlivem antropogenní činnosti eroze neustále zrychluje. Hlavní příčinou je špatné hospodaření v krajině a intenzivní zemědělská činnost. Při intenzivní srážkoodtokové události v Česku může dojít ke ztrátě až několik jednotek centimetrů půdy a dojít tak k nenávratné ztrátě.

Podmínky pro vznik vodní eroze jsou v Česku v porovnání s ostatními státy specifické. Půdní bloky mají největší rozlohu v Evropě kvůli intenzifikaci zemědělské produkce v období kolektivizace. V rámci kolektivizace docházelo k rozrušení hydrografických a krajinných prvků (rozorání mezí, polích cest apod.). Následky kolektivizace jsou v krajině zafixovány dodnes.

Ačkoliv jsou problémy eroze spojovány zejména se zvýšeným množstvím plavenin v tocích a zhoršením kvality vody, má též nezanedbatelný vliv na výnosy v zemědělství. Při slabé erozi půdy dochází ke snížení výnosů o 15 – 20 %. Na středně erodovaných půdách se snižují výnosy o 40 – 50 %. Tyto výstupy jednoznačně dokazují, že nesmíme brát výskyt vodní eroze na lehkou váhu (VÚMOP 2019).

Jeden z faktorů, které uvedl ve své práci Janeček (2002) je vliv vegetace. Ta svou intercepcí srážek chrání vegetaci před působením vodní eroze. Ve spojitosti se

zemědělstvím a osevními postupy je jedna plodina, která od roku 1960 výrazně zvýšila podíl plochy při pěstování a tou je řepka olejka. Podle Českého statistického úřadu (2016) se v 60. letech pěstovala řepka v ČR zhruba na 40 tis. hektarech, od 80. let stoupá podíl pěstované plodiny s mírnými výkyvy až do současnosti, kde zaujímá plochu okolo 400 tis. hektarů orných ploch. (Bauer 2018). Přehledový graf vývoje osevních postupů je znázorněn v grafu 2.1.



Graf 2.1: Osevní plochy v ČR od roku 1960 - 2015, nárůst plochy u řepky (ČSÚ in Bauer 2018)

Řepka olejka patří k plodinám, které nemají dobré vlastnosti bránící vodní erozi. Ačkoliv na vrcholu vegetačního období je porost velice hustý a míra intercepce je vysoká, přispívá ke zrychlenému povrchovému odtoku a odnosu jemnozrnných částic z ornice. To se týká extrémních srážek, jenž překračují úhrn infiltrační schopnosti půdy. Dále nedostatečně chrání půdu před vysycháním svrchních horizontů. Řepka je významným producentem dusíku a fosforu, který po sklizni zůstává v půdě, a tím poskytuje dostatek živin pro další plodinu. Tato vlastnost přináší výhody v zemědělství, avšak nepůsobí příznivě na ochranu vod. Množství dusíku a fosforu na orných plochách je přímo úměrné následnému výskytu těchto látek ve vodních tocích a nádržích. Podílí se tak na eutrofizaci povrchových vod (de Vries a kol. 2010, Bauer 2018). Autor Drewry a kol. (2009) uvádí, že dochází k uvolnění většího množství materiálu při vodní erozi v letech, kdy předcházelo suché období. Pokud tento závěr spojíme s rozšířeným pěstováním řepky a s výskytem sucha v ČR, může tím být vodní eroze v současnosti umocněna.

Současné nastavení ochrany půdy před erozí je postavené zejména na dotacích z evropských fondů, státního rozpočtu a na normách, které jsou formulovány v zákonech.

## **2.2 Modelování eroze půdy a transportu plavenin**

### **2.2.1 Obecná charakteristika a dělení modelů**

Ztrátu půdy lze stanovit různými metodami. Jelikož erozní proces je komplikovaný děj, většina výpočtů je úzce spojena s užitím výpočetní techniky. Jednotlivé kroky stanovení ztráty půdy vycházejí z ověřených mechanických výpočetních postupů. Nejpresnější sledování erozních procesů lze dosáhnout terénním měřením, bohužel časová a finanční náročnost této metody ji umožňuje aplikovat pouze na vybrané lokality malé rozlohy. Pro velká území je nutné aplikovat modely, které nejsou zdaleka tak přesné oproti terénnímu měření, nicméně výpočty se s rychle rozvíjejícími informačními technologiemi zpřesňují. Používané modely lze rozdělit do tří základních kategorií.

**Empirické modely** analyzují dlouhodobě naměřená data z terénu, popisující jednotlivé faktory ovlivňující erozi. Čím větší je sada měření a experimentů, tím je model přesnější. Výhodou je nenáročnost vstupních dat, a tím snazší užití. Negativem je generalizace vstupních dat a nedokonalé zachycení dynamiky faktorů v čase a prostoru. U modelování eroze může být příkladem nedokonalého zachycení dynamiky reakce modelů na extrémní srážkoodtokové události (Vysloužilová 2010, Vysloužilová a Kliment 2012). Do této kategorie patří například modely PSERA, USLE nebo model WaTEM/SEDEM, který je předmětem této práce.

**Fyzikálně zaměřené modely** přistupují k modelování eroze a transportu materiálu z hlediska fyzikálních vztahů. Matematickými postupy lze velmi podrobně vypočítat téměř jakýkoliv proces čili procesy od rozrušení povrchu až po sedimentaci. Oproti empirickým modelům jsou výsledky přesnější, s čímž je spojena velká náročnost na kvalitu vstupních dat. Výhodou je přesnost a detailní propočet jednotlivých procesů. Negativem je obtížná aplikace na velká území, některé modely pro velká území jsou prakticky nepoužitelná. Mezi simulační modely lze řadit například SWAT nebo AnnAGNPS (Jakubíková 2016).

**Konceptuální modely** též semi-empirické modely propojují přístup, jak empirických, tak simulačních modelů. Často je to v praxi aplikováno doplněním

empirického modelu, matematicky popsaným procesem jako například infiltrace či nasycení půdy. Tím se zlepší reakce na dynamické procesy v průběhu modelování a zlepší se přesnost výsledků (Kadlec 2007).

Problematické dělení modelů se například věnuje studie autorů Pandey a kol. (2016), ve které autoři popisují aktuální přehled dostupných padesáti modelů věnujících se erozi a transportu materiálu.

Tato práce se v dalším obsahu bude věnovat empirickým přístupům modelování, proto metody spojené s konceptuálními a fyzikálními modely nejsou příliš rozvedeny. Aplikace modelu WaTEM/SEDEM v této práci je založena na dostupnosti dat pro zpracování a je shledána jako ideální nástroj pro splnění cílů této práce.

### 2.2.2 Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE) a vstupující faktory

Wischmeier a Smith (1978) vytvořili rovnici USLE, která se stala jedním ze základních přístupů sloužících ke stanovení dlouhodobé ztráty půdy. Tato ztráta půdy je založena na rovnici o součinu šesti parametrů, které jsou popsány níže. Rovnice pochází z USA a byla vytvořena v roce 1978, kde měla za cíl zhodnotit erozi a navrhnout protierozní ochranu orných ploch (Janeček a kol. 2012).

Autoři Janeček (2012), Krása (2010), Wischmeier a Smith (1978) ve svých publikacích uvádějí rovnici takto:

$$G = R * K * L * S * C * P$$

<b>G</b>	průměrná dlouhodobá ztráta půdy ( $t * ha^{-1} * rok^{-1}$ )
<b>R</b>	faktor erozní účinnosti dešťů ( $MJ * ha^{-1} * cm * h^{-1}$ )
<b>K</b>	faktor erodability půd ( $t * h * MJ^{-1} * cm^{-1}$ )
<b>L</b>	faktor délky svahu
<b>S</b>	faktor sklonu
<b>C</b>	faktor ochrany půdy vegetací
<b>P</b>	faktor účinnosti protierozní ochrany

Tato rovnice se postupem času začala aplikovat po celém světě. Pro Česko vytvořil jednoduchou metodiku „Ochrana zemědělské půdy před erozí“

Janeček a kol. (2012), která aktualizuje původní vydání z roku 2007. Díky častému užívání ve světě se metodika neustále inovuje a validuje pro různá prostředí. Změny v metodice z roku 2012 se týkají především R faktoru, který byl dlouhodobě podhodnocen (Krása a kol. 2015, Bauer 2018).

R faktor vyjadřuje podle autorů Krásy, Dostála a Vrány (2008) účinek deště na velikost ztráty půdy. Je definován vztahem:

$$R = E * i_{30}$$

**R** ... faktor erozní účinnosti deště (MJ / ha\*cm / h)

**E** ... celková kinetická energie deště (J / m<sup>2</sup>)

**i<sub>30</sub>** ... maximální třicetiminutová intenzita deště

Hodnoty faktoru pro Česko vychází z dlouhodobých srážkových naměřených dat z meteorologických stanic ČHMÚ. V metodice autora Janečka (2007) byla průměrná hodnota R faktoru v Českém prostředí 20 MJ \* ha<sup>-1</sup>\*cm\*h<sup>-1</sup>. V metodice z roku 2012 byla tato hodnota pro ČR opravena na 40 MJ \* ha<sup>-1</sup>\*cm\*h<sup>-1</sup>. Hodnoty jsou závislé na mnoha faktorech, zejména na četnosti srážek. Největší rozdíly jsou mezi hodnotami faktoru v horských oblastech a oblastech ve srážkovém stínu (Janeček a kol. 2012).

Hodnota faktoru K je definována jako odnos půdy v tunách z jednoho hektaru na jednotku dešťového faktoru R ze standardního pozemku. Vyjadřuje vliv půdních vlastností na velikost ztráty půdy. Je zde patrná závislost na obsahu organické hmoty, propustnosti či struktuře ornice (VÚMOP 2016, Janeček a kol. 2012).

LS faktor zahrnuje vliv délky a sklonu svahu na velikost ztráty půdy. V literatuře je často nazývaný jako topografický faktor. Čím delší svah bez přerušení parcely a čím větší sklonitost daného svahu je, tím je LS faktor větší a dochází k větší erozi na tomto svahu a naopak. Tento faktor je bezrozměrný (Krása 2010).

Vegetace svou intercepcí chrání povrch před deštěm, a tím se významně podílí na velikosti eroze. Nejen intercepce zasahuje do srážkoodtokového procesu, ale vegetace svým prokořeněním zpevňuje půdní profil. Například vojtěška má bohatý kořenový systém, který napomáhá snižovat vodní erozi. Tento vliv vegetace je zohledněn v rámci faktoru C. Hodnoty faktoru se pohybují v rozmezí 0 – 1. Čím více se hodnota blíží nule, tím více chrání povrch před erozí. Nejvíce ohrožené zemědělské plochy jsou při pěstování



širokořádkových plodin jako je brambor, chmel či kukuřice. Naopak největší ochranný vliv mají trvalé travní kultury či jetel a vojtěška (Kliment, Langhammer 2005).

Faktor P vyjadřuje poměr odnosu ze skutečného pozemku s aplikací určitého způsobu opatření oproti pozemku udržovaného běžnou agrotechnikou bez využití ochranných opatření. Hodnota tohoto faktoru se často rovná 1 (nejdou žádná ochranná opatření), nicméně velikost tohoto faktoru závisí například na orbě po vrstevnici nebo po spádnicí, přítomnosti teras, pásového obdělávání apod. (Novotný a kol. 2017).

### 2.2.3 Transport plavenin

Erodovalý materiál, který nesedimentuje se transportuje po svahu do nižší nadmořské výšky až do hydrografické sítě. Transportovaný materiál uvnitř toku se nazývá plavenina. Při výrazných srážkoodtokových událostech narůstá množství plavenin uvnitř toku a může tvořit až 90 % celkového ročního odnosu. Erodovalý materiál na sebe váže například dusík a fosfor, které napomáhají ke snížení kvality vody v toku. Tento proces dokazuje promývání profilů v půdě a změnu chemismu jak v půdě, tak i v hydrografické síti (Tippl 1998). Janeček (2002) uvádí, že 40 – 90 % transportovaného materiálu má menší velikost zrn než 0,5 mm. Záleží, jaký druh eroze dominuje. Při dominanci plošné eroze je uvolněn větší podíl jemnozrného materiálu, naopak u rýhové eroze je zvýšené procento hrubozrného materiálu (Kim a kol. 2006). V práci autora Dwery a kol. (2009) je uvedeno, že koncentrace plavenin je větší, pokud předchází srážkoodtokové události suché období.

Rovnice USLE stanovuje dlouhodobou ztrátu půdy v tunách na hektar, nicméně součástí jejího výpočtu není brána v potaz depozice uvolněného materiálu. K výpočtu lze použít nástroj SDR (sediment delivery ratio). SDR je metoda, kterou mohou stanovit množství sedimentovaného materiálu dle charakteristik dílčího povodí. Respektive poměr depozice k erozi ještě před kontaktem s říční sítí. Faktory, které výpočet ovlivňují je plocha povodí, reliéf, nejdelší odtoková dráha a odtoková křivka (Bečvář 2003, Bauer 2018). Tato metoda je výhodná svou jednoduchostí odvození parametru, nicméně nedostatečně popisuje prostorovou variabilitu prvků, které depozici a transport materiálu ovlivňují (Bauer 2018).

Stanovení množství plavenin uvnitř toku lze buďto změřit v terénu či dopočítat podle matematických modelů. Naměřené vzorky v terénu je nutno laboratorně zpracovat za cílem získání celkového množství transportovaného materiálu v toku. Pro stanovení



celkového množství plavenin je nutné odebírat vzorky v pravidelných intervalech, zejména intenzivněji v průběhu srážkoodtokové události. Pokud nejsou k dispozici naměřená data, mohou například využít modifikovanou rovnici ztráty půdy MUSLE, pomocí které lze odhadnout množství plavenin během odtokové vlny (Tippl 2001) případně jiné modely, například modely SWAT a AnnGNPS (Kliment 2008).

Empirické modely mají velkou nevýhodu, jelikož zanedbávají depozici a erozi materiálu uvnitř hydrografické sítě. Předpokládají, že eroze s depozicí v toku jsou v rovnováze, případně jsou zanedbatelné oproti plošným zdrojům.

Model WaTEM/SEDEM, který je řešen v této práci, je nástrojem, který využívá dlouhodobou ztrátu půdy a stanovuje i depozici daného materiálu.

#### 2.2.4 Depozice materiálu ve vodních nádržích

S rostoucí vodní erozí je svázána problematika zanášení vodních nádrží. Mezi vodní erozí a zanášením vodních ploch je přímá úměra. Zanášení ploch vzniká prostou sedimentací materiálu v místech, ve kterých voda ztrácí svou unášecí schopnost. Usazovaný materiál může mít rozdílnou velikost zrn od štěrkopísků až po jíly, které jsou charakteristické pro rybníky. Čím větší unášecí schopnost proudící voda má, tím větší zrna jsou relokována. Při snižující se unášecí schopnosti proudící vody dochází k vytržení materiálu a akumulaci.

Na erodovaný materiál se váží živiny a látky jako dusík a fosfor, které odpovídají způsobu hospodaření v povodí. Nevhodné hospodaření v blízkosti vodních nádrží může mít velké dopady na kvalitu vody a rychlost zanášení okolních vodních ploch. V Česku je více než jedna třetina vodních ploch zatížena nadměrným množstvím sedimentů. Celkové množství sedimentů je odhadováno na 197 mil. m<sup>3</sup>. Takto zatížené nádrže mají omezenou retenční schopnost a snižují tak míru ochrany při případných povodních. Dále je rizikem eutrofizace a snížená kvalita vod (Kubík 2009). Obnova funkce zanesené nádrže vyžaduje velké investice zejména pokud usazený materiál nesplňuje kvalitu uvedenou v příloze č. 9 zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech. Pokud kvalita usazenin je v rámci zmiňovaného zákona v pořádku je možné materiál použít ke zpětné recyklaci jako hnojivo na orných plochách. Pokud daný zákon nesplňuje, je nutné materiál odvézt na skládku. Investice za skládkování a dopravu tím rapidně vzrostou (Kubík 2009).

V rámci vstupních vrstev do modelů řešící erozi a akumulaci nádrží vstupují i data, charakterizující zachycení materiálu ve vodních nádržích. Často jsou založeny na empirických přístupech sledujících morfologii nádrže, průtok či poměr zachycení materiálu. Existuje několik metod, kterými je poměr zachycení stanoven, například Brownova metoda (1944) nebo Bruneho metoda (1953). Bruneho metoda podle autora Šálka a kol. (1989) je nejvhodnější a nejpoužívanější. Vztah Bruneho metody je následující:

$$A = 100 * 0,97^{\log(C/I)}$$

A ... Poměr zachycení (%)

C ... Zásobní objem nádrže (m<sup>3</sup>)

I ... Roční průměrný průtok nádrží (m<sup>3</sup>/rok)

Tento vztah je platný pro nádrže, které nemají extrémní přísun materiálu či nejsou v průběhu roku částečně vypuštěné apod.

## 2.3 Model WATEM/SEDEM

### 2.3.1 Charakteristika modelu

Tento model vznikl na Katolické univerzitě v Lovani v Belgii, a jelikož je to empirický model má oproti semiempirickým modelům nižší náročnost na vstupní data, tím lze model široce aplikovat. Vznikl spojením jednotlivých modelů WaTEM (Water and Tillage Erosion Model), charakterizující ztrátu půdy a SEDEM (Sediment Delivery Model), který modeluje následnou distribuci a depozici sedimentů. Základ, na kterém je model postaven je rovnice RUSLE (Vysloužilová a Kliment 2012, Van Rompaey a kol. 2001, Van Oost a kol. 2000).

Podle autorů Verstraeten a kol. (2002) a Van Oost a kol. (2000) model vznikl za cílem ochrany zemědělské půdy před erozí. Dokáže lokalizovat a kvantifikovat erozi v krajině. Následně lze pomocí výsledků stanovit protierozní opatření a vhodné použití osevních postupů a aplikace různých scénářů v hospodaření. Model oproti jiným dostupným modelům nesleduje erozní jevy příliš dynamicky, slouží ke stanovení dlouhodobé ztráty půdy a její variabilitě v prostoru.

Model je volně dostupný na webových stránkách Katolické univerzity v Lovani, kde je k dispozici ke stažení několik verzí programu. Nejnovější verze programu je z roku 2006. Oproti předposlední verzi WaTEM/SEDEM 2.1.0 se toho v aktualizaci modelu příliš nezměnilo. Nyní lze určovat, které vrstvy modelu chcete exportovat, ve verzi 2.1.0 byly exportní vrstvy generovány automaticky. Dále je možné modelovat nejen erozní procesy, ale i distribuci těžkých kovů, což není předmětem této práce.

### 2.3.2 Základní výpočetní metoda modelu WaTEM/SEDEM

Základním stavebním kamenem modelu je rovnice RUSLE. Jednotlivé vstupní vrstvy této rovnice jsou překryty pravidelnou rastrovou mřížkou, která rozdělí vstupní vrstvy na pixely. Takto lícované rastrové vrstvy vstupují do výpočtu ve formátu Idrisi. Formát Idrisi se začal hojně aplikovat po roce 2000 z důvodů jednoduché a rychlé práce s rastrovými daty, autoři zvolili tento formát i v modelu WaTEM/SEDEM. V nových verzích programu ArcMap lze importovat a provádět s daty ve formátu Idrisi základní rastrové úkony. Bohužel export rastru ve formátu Idrisi z ArcMap není možný.

Odtokové dráhy modelu jsou počítány z dat digitálního modelu terénu dvěma způsoby. Jeden použitý algoritmus Multiple Flow (Desmet a Govers 1996), který dělí dráhy odtoku do více směrů podle vypočtených dat sklonitosti a zdrojové plochy eroze. Tato metoda je použita v nejnovější verzi modelu z roku 2006. Původní verze modelu užívaly algoritmus Steepest descent, který směřoval veškerý transportovaný materiál do následujícího pixelu s největším sklonem. To neodpovídalo reálnému transportu materiálu, proto se používá metoda Multiple Flow. Důležitým prvkem odtokových drah je koeficient transportní kapacity, který stanovuje množství sedimentů, jež bude transportováno po svahu dolů. Čím je koeficient větší, tím více materiálu je transportováno. Transportní kapacita je pro různé povrchy různá a pokud je větší množství materiálu v daném pixelu, než je možné transportovat, dochází k depozici (Verstraeten 2006).

Transportovaný materiál je podle sklonu posouván po svahu níže, pokud nedojde k jeho depozici, dostane se do hydrografické sítě, kde se stane součástí plavenin putujících do závěrového profilu. V hydrografické síti je generalizována eroze i akumulace materiálu a k redukci množství plavenin dojde jen při kontaktu s vodní nádrží, kde lze zadat procentuální zachycení sedimentu.

Podrobná charakteristika modelu, praktická práce s modelem i s metodikou výpočtu je rozebrána v literatuře autora Krásky (2004), ve které je model aplikován poprvé v Česku.

### 2.3.3 Vstupní data

Mezi základní vstupy do modelu patří faktory týkající se rovnice RUSLE. Čili jedná se o faktory R, K, C a spojení dvou faktorů LS, který si model generuje sám na základě DMT a mapy parcel. Nezbytným základním vstupem je již zmíněná mapa parcel, která vymezuje sledovanou oblast a udává kategorie využití ploch daného území. Podrobné zpracování vrstev je popsáno v kapitole 4 Metody a datové zdroje. Vstupní vrstvy jsou v rastrové podobě ve formátu Idrisi, u kterých na sebe líčují jednotlivé pixely se stejným rozlišením ve stejném geografickém systému (Van Rompaey 2001).

Stručně popsané vstupní vrstvy jsou zde:

1) **DMT** – digitální model území, ze kterého jsou odstraněna bezodtoká místa. Tento vstup se podílí spolu s mapou parcel na výpočtu **LS faktoru**.

2) **Mapa parcel (land-use)** – rastrová mapa využití území, která obsahuje identifikátory zobrazené v tabulce 2.1.

Klasifikace mapy parcel	
Identifikátor	kategorie Land-use
-2	cesty a intravilán
-1	vodní toky
0	oblast mimo sledované území
1 - n	orné plochy
10 000	les
20 000	trvale travní porosty

Tabulka 2.1: Přirazení identifikátoru pro klasifikaci mapy parcel

Tyto identifikátory jsou klíče, podle kterých model pracuje v rámci výpočtu a slouží hlavně jako vymezení parcel pro dopočítání LS faktoru. Na hranicích těchto parcel dochází k přerušení délky svahu a k následné sedimentaci materiálu. Tato vrstva může být sestavena pomocí nástroje EROMAT přímo v rozhraní modelu WaTEM/SEDEM. Každé orné ploše je přiřazen vlastní identifikátor (Krása 2004, Vysloužilová 2010).

3) **River routing** – je vstupní vrstva charakterizující říční síť. Model může modelovat i bez této vrstvy, pakliže jí do modelu nevložíme, model bere celou říční síť,

jako jeden tok. Všechny materiál, který se do toku dostane, je sečten a charakterizován jedním výsledným číslem. Pokud oblast obsahuje říční síť s vodními nádržemi případně s více než jednou řádovostí toku, autor doporučuje tuto vrstvu zadat (Krása 2004). Součástí tohoto vstupu je kromě rastru říční sítě také textová tabulka s identifikátory jednotlivých částí říčních toků a seznamem uzlových bodů, ze kterých lze odvodit návaznost vodních toků.

4) Následující vstupy jsou faktory **C**, **K**, **R** a **P**, ty jsou stručně charakterizovány v kapitole 2.3.3 Vstupní data, věnující se zpracování rovnice USLE. Lze je zadat dvěma způsoby. Nejsnazší varianta umožňuje zadat číselnou průměrnou hodnotu pro celé území, to způsobí nedostatečné zachycení variability sledovaného prostředí. Druhá varianta umožňuje vložit rastrovou vrstvu s odpovídajícím rozložením faktorů v prostoru.

5) **LS faktor (faktor délky sklonů)** – je jeden z faktorů rovnice RUSLE, nicméně tento faktor není vkládán do modelu samostatně, nýbrž model si vypočítá LS faktor sám podle zadaných parametrů, vstupních vrstev DMT a mapy parcel. Metodika výpočtu odpovídá algoritmům USLE2D. Model WaTEM/SEDEM nabízí čtyři možnosti výpočtu podle autorů:

- a) Wischmeier a Smith (1978)
- b) McCool (1997)
- c) Govers (1991)
- d) Nearing (1997)

K výpočtu je nutné nastavení charakteristiky výpočtu exponentů délky svahu (m) podle autorů:

- a) Wischmeier a Smith (1978)
- b) McCool (1987)

6) Poslední vkládaná vrstva je **Ponds**, která popisuje vodní plochy ve sledovaném území. Tato vrstva je nepovinná. Pokud není zadána, přičte se hodnota sedimentovaného materiálu k množstvím plavenin v toku. Pro sestavení této vrstvy je potřeba znát poměr zachycení nádrže (TE), který lze vypočítat například pomocí Brunneho metody (1953), která je popsána v kapitole 2.2.4 Depozice materiálu ve vodních nádržích. Procento zachycení je užito jako identifikátor nádrže.

Kromě vstupních vrstev jsou součástí modelu další vstupní charakteristiky, a tím je koeficient transportní kapacity ( $K_{TC}$ ), Parcel Connectivity a kalibrační koeficient

modelu PTEFF (parcel trap efficiency). Tyto kalibrační faktory jsou popsány v odstavcích A – C.

A) **Koeficient Transportní kapacity ( $K_{TC}$ )** je jeden ze základních kalibračních parametrů modelu. Autor Krása a kol. (2013) uvedl, že se koeficient stanovuje rozdílně, pro povrchy s různou odolností či náchylností povrchu k erozi. Tato náchylnost je dána mnoha faktory, jako je například konvergencí svahu, sklonitostí, vegetací či půdní texturou. Autor stanovil limitní hodnotu  $K_{TC}$  pro české prostředí 0,1, tato hodnota je závislá na mezní hodnotě C faktoru. Transportní kapacita je závislá na náchylnosti k rýhové erozi, která vychází z DMT (Van Rompaey a kol. 2001):

$$T_C = K_{TC} * E_{PR}$$

$T_C$  ... transportní kapacita ( $kg * m^{-1} * rok$ )

$K_{TC}$  ... kalibrační koeficient transportní kapacity (m)

$E_{PR}$  ... potenciál náchylnosti k rýhové erozi ( $kg * m^{-2} * rok^{-1}$ )

Model vyžaduje dvě vstupní hodnoty koeficientu transportní kapacity.  $K_{TC}$  low určuje hodnotu koeficientu pro neerodivní plochy a  $K_{TC}$  high, která je určena pro plochy erodivní. Van Rompaey a kol. (2001) určuje výchozí hodnoty  $K_{TC}$  low = 100 a  $K_{TC}$  high = 200, tyto hodnoty však nejsou reprezentativní pro české prostředí. Krása a kol. (2013) zkalibrovaly hodnoty pro ČR. Přesné vstupní hodnoty jsou uvedeny v metodické části této práce.

B) **PTEFF (parcel trap efficiency)** – Tento parametr udává poměr zachycení materiálu pro jednotlivé kategorie pozemků (les, orná plocha a trvale travní porost). Lze ji zadat v rastrové podobě vycházející z terénního měření pro každou parcelu zvlášť, nebo převzetím hodnot od autorů modelu.

C) **Parcel connectivity** – Tento parametr popisuje vliv hranic na redukci transportovaného materiálu. Parametr se zadává ve dvou hodnotách. Jedna stanovuje poměr zachycení na hranicích orných ploch a druhá určuje hodnotu pro lesní a zatravněné plochy.

### 2.3.4 Výstupní data

Výstupní data lze rozdělit na textové a rastrové soubory. Pro tyto soubory lze zvolit v jakých jednotkách je vyžadován výstup. Buďto lze výsledky hodnotit v  $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$  nebo v  $mm \cdot rok^{-1}$ .

**Textové soubory jsou:**

- a) celková míra eroze pro celé sledované území
- b) celková míra depozice pro celé sledované území
- c) celková míra sedimentů vstupujících do vodních toků
- d) celkové množství zachycené ve vodních nádržích
- e) míra zachyceného materiálu pro jednotlivé nádrže a jednotlivé úseky říční sítě podle vstupního parametru river routing

**Rastrové soubory jsou:**

- a) netto erosion – vrstvy popisující celkovou míru eroze a depozice pro jednotlivé pixely sledovaného území
- b) LS faktor – vypočtený faktor délky a sklonu svahů
- c) inflow a outflow jsou dva výstupy charakterizující distribuci materiálu mezi jednotlivými elementy (Krása 2004, Vysloužilová 2010, Bauer 2018)

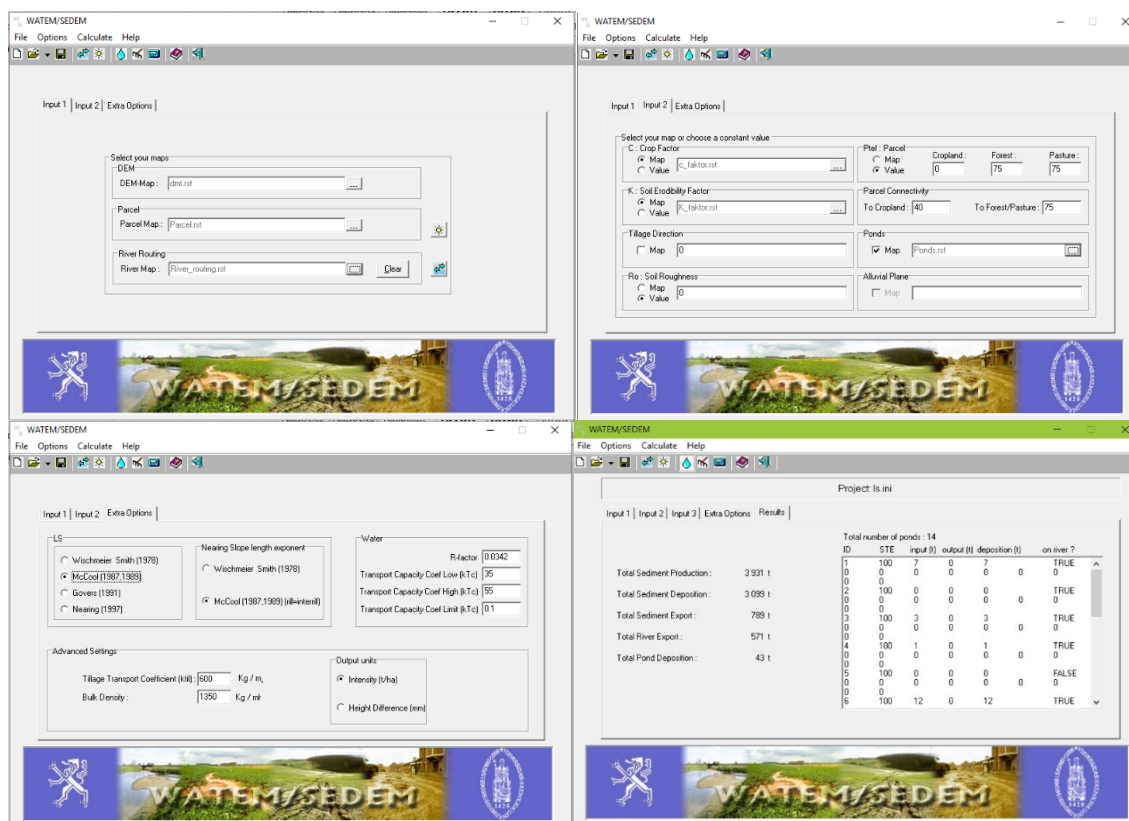
### 2.3.5 Uživatelské rozhraní modelu

Celkové nastavení a popis modelu je detailně rozebrán v manuálu autorů modelu (Notebauer a kol. 2006), který je volně dostupný na stránkách Katolické univerzity v Lovani stejně jako samotný model. Praktické rady při instalaci a práci s modelem jsou uvedeny v metodické kapitole 4.1.

Instalace modelu není nikterak složitá a stačí po stažení souboru umístit podle podrobností v manuálu model na hlavní disk PC a vše je připraveno k modelování.

Po otevření souboru se zobrazí hlavní dialogové okno, které je jednoduché, přehledné a intuitivní. Do modelu vstupují vždy rastrová data ve formátu Idrisi, nebo číselné parametry charakterizující dané území. Jediný rozdílný vstup se týká vrstvy river routing, který je popsán v kapitole 4.4. Model je možné použít již při vstupu dvou základních vrstev, které jsou DMT a mapa parcel.

Zobrazení dialogových oken jednotlivých záložek je znázorněno na obrázku 2.3. Výsledné okno s výsledky je zobrazeno po výpočtu modelu se základním přehledem výsledků za celé území a očíslovanými nádržemi s množstvím zachycených sedimentů.



Obrázek 2.3: Uživatelské rozhraní – přehled dialogových oken.

## 2.3.6 Užití a verifikace modelu ve světě a v Česku

### 2.3.6.1 Aplikace modelu v světě

Model WaTEM/SEDEM od svého vzniku byl aplikován po celém světě. Autor Van Rompaey a kol. (2005) aplikoval model v italském prostředí 40 povodí, čímž charakterizoval, celé italské prostředí. Rozloha testované oblasti byla necelých 30 000 km<sup>2</sup>. Jeden z hlavních výsledků modelu doporučuje aplikaci modelu v místech, kde je rovnoměrnější rozložení srážkových úhrnů, jelikož vykazovaly přesnější výsledky. Pro vysoká horská povodí model nedostatečně zachytil variabilitu srážek. Tato studie patří mezi jedny z největších validačních studií pro tento model.

V roce 2006 validoval model autor Varstreten na 19 000 km<sup>2</sup> francouzských povodí, kde byl aplikován v rozlišení 100 metrů. Ačkoliv rozlišení není podrobné, hodnoty na velkých plochách povodí vykazovaly uspokojivé hodnoty.



Další studii charakterizující španělské prostředí zpracoval Alatorre a kol. v roce 2010. Ve stejném roce vznikla studie v Belgii od autorů Verachtert a kol. (2010), ve které byly výsledky konfrontovány s výsledky jiných empirických modelů. V Belgii také proběhla studie autorů Roysschaerta a kol. (2008), jenž se snažila zacílit na porovnání více modelů na stejných datech.

Nicméně za zmínku stojí jedna z nejnovějších studií autorů Zhao a kol. (2015), která se věnovala čínskému povodí o rozloze 3000 km<sup>2</sup>. Přidanou hodnotou bylo podrobné zpracování. Studie byla vytvořena v rozlišení 5 m.

#### *2.3.6.2 Aplikace modelu v Česku*

V Česku se začalo modelovat pomocí modelu WaTEM/SEDEM v roce 2004. Průkopníkem tohoto modelu u nás je Josef Krása, který navázal spolupráci s KU v Lovani, kde se s autory modelu věnoval úpravám a zlepšováním modelu. Od té doby se model v Česku začal aplikovat častěji. První prací byla disertační práce (Krása 2004), jenž se cílila na lokalizaci a kvantifikaci eroze v povodí řeky Orlice a následné navrhnutí protierozní ochrany. Na disertační práci autor navazuje habilitační práci v roce 2010, aplikující model na vodní nádrži Římov (Krása 2010).

Dále je model využit stejným autorem (Krása a kol. 2005) ve výzkumu řešící zanášení vodní nádrže Vrchlice, nicméně autoři upozorňují, že velikost povodí nádrže Vrchlice není dostatečně veliká, aby uspokojivě verifikovala model pro podmínky v celém Česku.

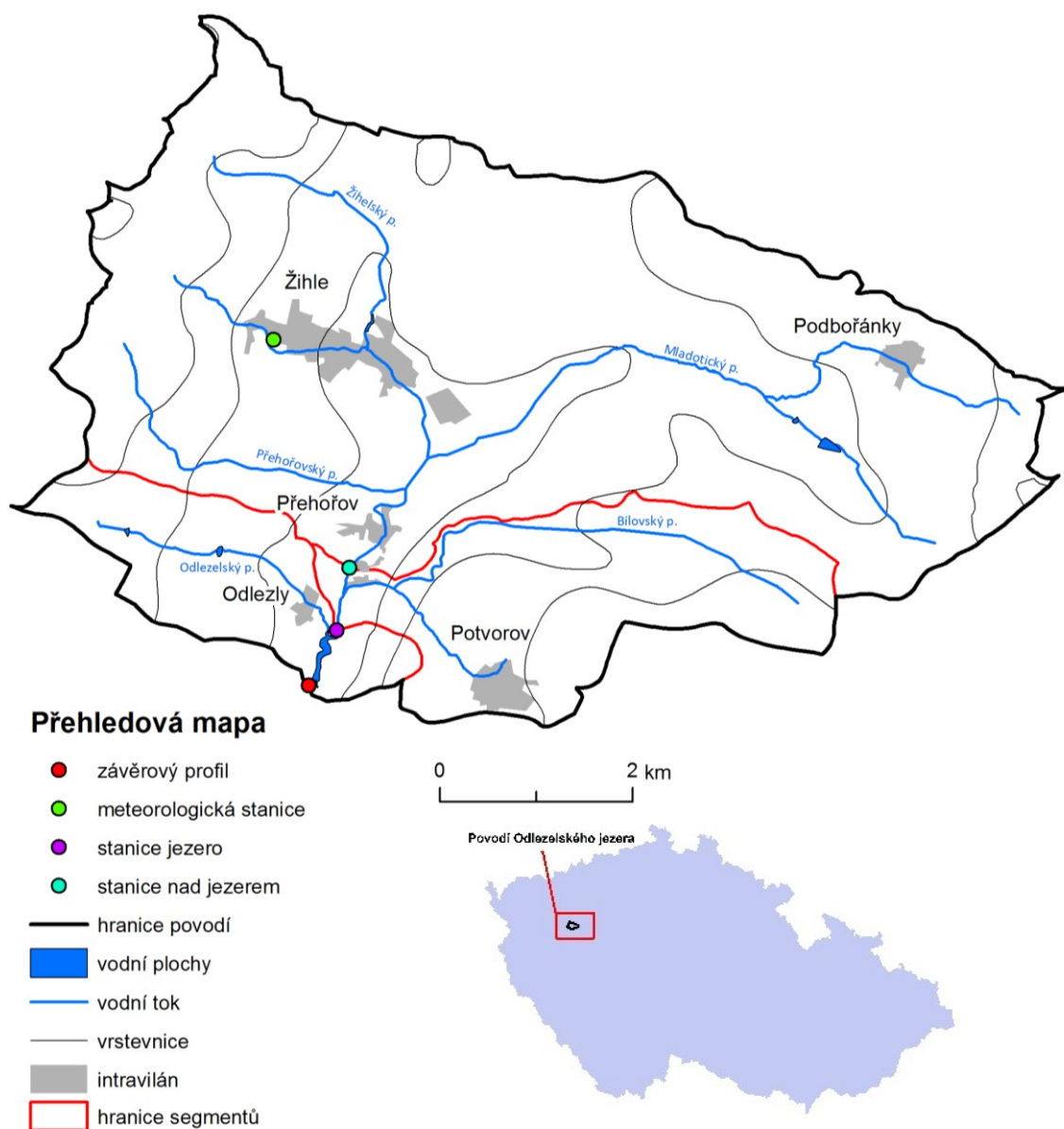
Dalším autorem byl například Plocek (2006), který se věnoval transportu materiálu a chybám při výpočtu a citlivostní analýze jednotlivých parametrů.

Nejaktuálnější práci vypracoval autor Bauer (2018), který se věnoval zanášení vodních ploch sedimenty. Zde byl jako klíčový nástroj pro hodnocení sedimentů použit model WaTEM/SEDEM. Tato studie se týkala 58 významných vodních nádrží a prokázala, že 59 % veškerého materiálu v tocích se zachytí v těchto nádržích. Součástí výsledků je i navrhnutí protierozní ochrany, kde pomocí modelu dokazuje, že změna hospodaření na 5 % nejrizikovějších oblastí se projeví na snížení množství sedimentů v nádržích o 10 - 20 %.

### 3 Charakteristika zájmového území

Sledované území se nachází na severovýchodní hranici plzeňského kraje (obrázek 3.1). Malá část povodí náleží středočeskému kraji, respektive ORP Rakovník. Sledovaná lokalita spadá pod povodí Odlezelského jezera, přičemž místo odtoku vody z jezera je zároveň závěrovým profilem území v nadmořské výšce 412 m n. m. Celková rozloha je 45,96 km<sup>2</sup> s nejvýše položeným bodem 622,7 m n. m. Území je prameništěm několika potoků, které se vlévají do Mladotického potoka, jenž je hlavní páteří hydrografické sítě.

Povodí jezera bylo rozděleno na 3 segmenty: povodí přehořovské stanice, Odlezelského potoka a Potvorovského potoka. Důvodů rozdělení bylo hned několik. Nejzásadnějším bylo vyčlenění povodí stanice nad Odlezelským jezerem v obci Přehořov, které nám umožnilo porovnat a kalibrovat výsledky modelu s naměřenými daty plavenin na stanici. Segmenty Potvorovského a Odlezelského potoka nám umožní lépe pochopit rozložení intenzity eroze v prostoru. Zejména výsledky modelování pro segment Odlezelského potoka nám zprostředkují informace o přírůstku plavenin do jezera z této části povodí, pro které neznáme, žádné naměřené hodnoty plavenin.



Obrázek 3.1: Přehledová mapa sledovaného území.

### 3.1 Geologie a geomorfologie

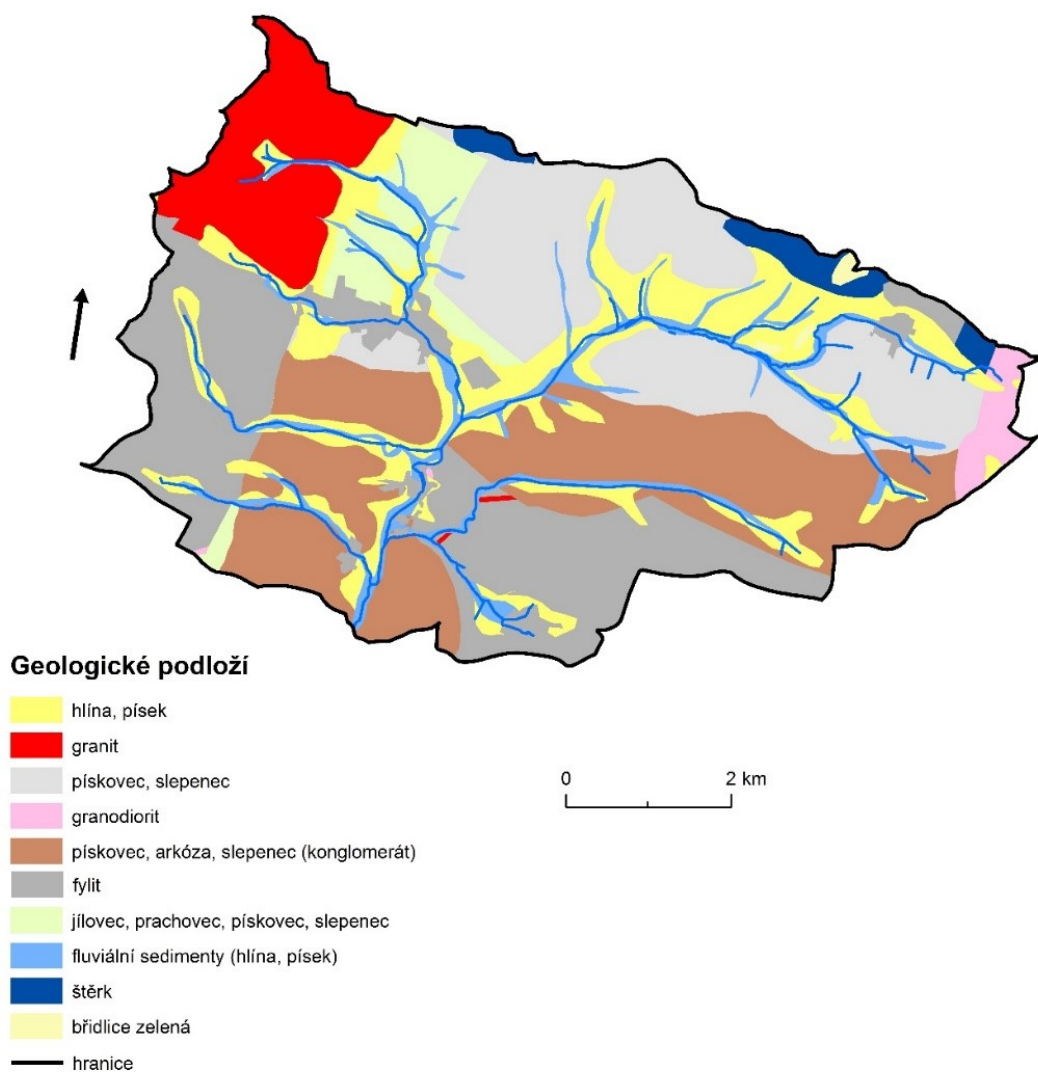
Geologické a geomorfologické poměry byly popsány dle taxonomie od Balatky a Kalvody (2006), která je zobrazena v tabulce 3.1.

<b>Systém</b>	Hercinský	
<b>Provincie</b>	Česká vysočina	
<b>Subprovincie</b>	Boberounská pahorkatina	V
<b>Oblast</b>	Plzeňská pahorkatina	VB
<b>Celek</b>	Rakovnická pahorkatina	VB1
<b>Podcelek</b>	Žihelská pahorkatina	VB1-B
<b>Okresek</b>	Petrohradská pahorkatina	VB1-B-a
	Žihelská brázda	VB1-B-b
	Rabštějnská pahorkatina	VB1-B-c

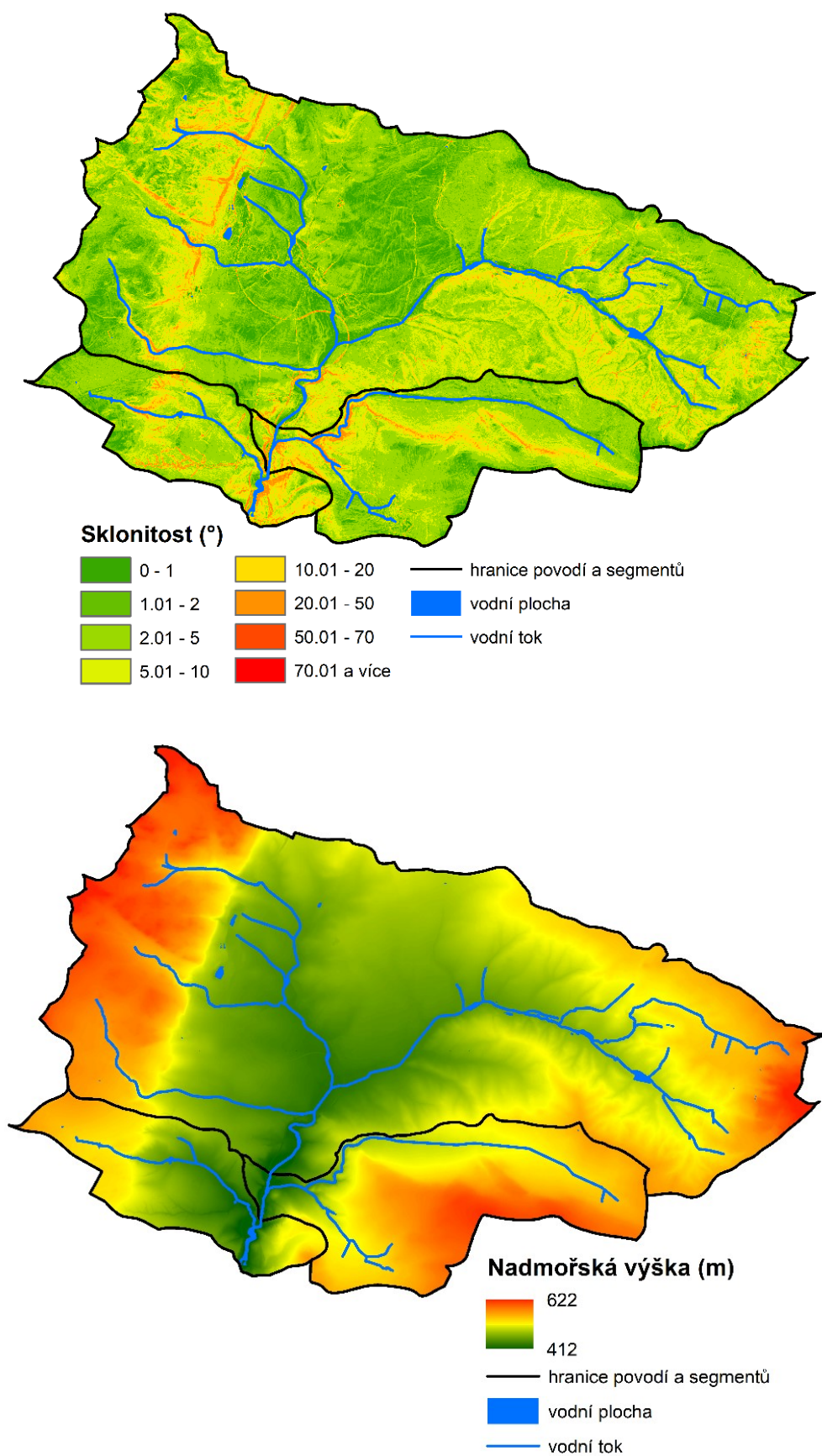
*Tabulka 3.1: Taxonomie území podle geomorfologického systému Balatky a Kalvody (2006).*

Převážná část území jsou denudačně zarovnané pahorkatiny tvořené metamorfovanými horninami a granitoidy, které jsou odděleny tektonickou sníženinou na karbonských horninách. Tektonická sníženina je 18 km dlouhá se táhne ve směru SSV-JJZ. Na jejích okrajích jsou konkávní svahy, na kterých je očekávaná zvýšená intenzita eroze. Žihelská brázda je dobře patrná v mapě znázorňující nadmořskou výšku a sklonitost zájmového území na obrázku 3.3. V severozápadní části sledovaného území tvoří geologické podloží granitoidy, které náleží čistecko-jesenickému masivu. To dokládá výskyt žulových skalních výchozů v této části (Viklan, Bába a Dědek). Granitové podloží je na obrázku 3.2 znázorněno červenou barvou, mimo jiné je zde zobrazeno složení geologického podloží v celé lokalitě.

Převážná část lokality, zejména oblasti žihelské brázdy nemá vyšší sklon než 10°. Největší sklonitosti se objevují na hranicích brázdy na konkávních svazích. Tyto svahy se pohybují nejčastěji ve sklonu 20 – 50° a jsou na většině území zalesněné. Ve sledovaném území se vyskytují i skalní výchozy a svahy, které mají vyšší sklonitosti, nicméně nemají plošně nikterak výrazné zastoupení.



*Obrázek 3.2: Geologická mapa podloží povodí Odlezelského jezera.*



Obrázek 3.3: Sklonitost a nadmořská výška sledované lokality (ČÚZK, DIBAVOD).

### 3.2 Klimatické poměry

Oblast sledované lokality patří podle Quitta (1971) mezi mírně teplé oblasti označené MW4 a MW7 (tabulka 3.2), přičemž většině plochy náleží MW4. Průměrný roční úhrn srážek se pohybuje v rozmezí 500 - 550 mm s tím, že ve vegetačním období spadne 60 – 70 % celoročních srážek. Naměřený úhrn z meteorologické stanice v obci Žihle je zobrazen v tabulce 3.3 a v porovnání s klasifikací Quitta jsou průměrné hodnoty ročního úhrnu srážek nižší.

Rok	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	celkem
Průměrný roční úhrn srážek (mm)	380.8	402.9	488.4	324.5	429.7	405.8	286.9	388.4

Tabulka 3.3: Průměrné roční úhrny naměřené na stanici v Žihli.

Kód BPEJ přiřazuje oblast do mírně teplých regionů MT1 a MT2, u kterých se pohybují průměrné roční teploty mezi 7 - 8 °C. Klasifikace podle Quitta stanovila pro tuto oblast průměrné roční teploty v rozmezí 6 – 7 °C. Do třídy MT2 přiřazuje oblasti s nadmořskou výškou nad 500 m n. m. Počet ledových dní je mezi 40 – 50 dny, přičemž v průměru je 60 – 80 dní v roce povrch pokryt sněhovou pokrývkou (Atlas podnebí, 2007).

Klimatická charakteristika	MW4	MW7
Počet letních dní	20 - 30	
Hlavní vegetační období	140 - 160	
Počet dní s mrazem	110 - 130	
Počet ledových dní	40 - 50	
Průměrné lednové teploty	-2 - -3 °C	
Průměrné dubnové teploty	6 - 7 °C	
Průměrné červencové teploty	16 - 17 °C	
Průměrné říjnové teploty	6 - 7 °C	7 - 8 °C
Četnost dní se srážkou 1 mm a více	110 - 120	100 - 120
Úhrn srážek za vegetační období (mm)	350 - 450	400 - 450
Úhrn srážek za zimní období	250 - 300	
Počet dní se sněhovou pokrývkou	60 - 80	
Počet zatažených dní	150 - 160	120 - 150
Počet jasných dní	40 - 50	

Tabulka 3.2: Obecné klimatologické charakteristiky sledovaného území podle Quitta (1971) (Zdroj: Atlas podnebí 2007).

### 3.3 Hydrologické poměry

Hlavní páteří hydrografické sítě, v povodí Odlezenského jezera, je Mladotický potok. Jeho délka je 8,5 km a rozděluje plochu na dvě nesouměrné strany, jelikož pravá strana povodí je 2,4krát větší než levá strana. Hustota říční sítě je 0,978 km toku na 1 km<sup>2</sup>. Pravostranné přítoky jsou Žihelský, Přehořovský a Odlezenský potok, naopak z levé strany se vlévá Potvorovský potok. Dále se Mladotický potok vlévá do Střely, Berounky, a nakonec do Labe. Nejmenší pramenné potoky jsou VII. řádu. Uspořádání hydrografické sítě je listovité a hodnota graveliova koeficientu je 1,41, to značí protáhlý tvar povodí.

Vodní nádrže v povodí kromě Odlezenského jezera jsou malé, jedná se z velké části o rybníční soustavy sloužící jako obecní požární nádrže. K nim patří například rybníky v obcích Odlezy či Přehořov. Mezi plošně největší patří zatopené lomy u obce Žihle, nicméně ty nejsou podle databáze DIBAVOD napojené na říční síť.

Kvalita povrchové vody, konkrétně u malých vodních toků, podle Vackové (2014) se oproti 90. letům poměrně zlepšila. Jako největší zdroje znečištění označila zemědělskou činnost a antropogenní činnost v oblasti sídel.

Množství plavenin v toku je měřeno na stanici nad jezerem v obci Přehořov od roku 2012 (tabulka 3.4). Tyto naměřené hodnoty jsou použity v kalibraci modelu WaTEM/SEDEM a charakterizují distribuci sedimentů v říční síti. Podle dostupných dat bylo největší množství plavenin v toku v roce 2013, ve kterém došlo k posledním povodňovým událostem. V tomto roce bylo transportováno o 128 % více materiálu, než je průměrná hodnota pro roky 2012 – 2018.

Rok	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	celkem
Množství plavenin v toku (t/rok)	182.8	356.2	76.7	166.6	56.8	96.5	89.2	146.4

Tabulka 3.4: Množství naměřených plavenin v Mladotickém povodí v letech 2012 – 2018.

#### 3.3.1 Odlezenské jezero

Toto jezero se řadí mezi nejmladší jezera v Česku a svou rozlohou 4,5 ha je to 4. největší jezero u nás. Má severojižní protáhlý tvar s hladinou v nadmořské výšce 412 m n. m. Oblast jezera byla v roce 1975 vyhlášena jako chráněný přírodní výtvar a později se lokalita stala národní přírodní památkou. Příčinou vyhlášení ochrany je nejen



unikátnost jezera jako takového, ale i zdejší geologický fenomén, to jsou výchozy karbonských arkózovitých pískovců a arkóz Žihelské pánve (Prouza 2001).

Vznik jezera je datován v roce 1872, kdy byly v této lokalitě extrémní úhrny srážek, které uvolnily západní svah Potvorovského vrchu. Sesuv přehradil Mladotický potok, tím vytvořil přírodní hráz jezera. Podle Janského a kol. (2010) byla hloubka v době vzniku okolo 20 metrů, nicméně ihned po vzniku započalo zanášení jezerní pánve. Materiál pocházel zejména z nezpevněných břehů a z hráze, které byly narušeny sesuvem a intenzivními srážkami. Následně začalo probíhat postupné zanášení sedimenty z celého povodí jezera, které trvá až dodnes. Množství tohoto materiálu záviselo kromě přírodních pochodů na způsobu hospodaření v povodí, které přímo ovlivňovala antropogenní činnost. Schulte a kol. (2007) označil období kolektivizace zemědělství a s ní spojené změny v krajině jako příčinu větší intenzity erozních procesů, a tím i rychlejší zanášení jezera.

První výzkum byl uskutečněn v roce 1972, kdy se zaměřil půdorys jezera. Další měření batymetrie proběhlo v roce 1990 a mezi těmito roky se zvýšila mocnost sedimentu o 1,4 m (Schulte a kol. 2007). Poslední měření probíhalo v roce 2017, kterému se věnuje (Hulec 2017). Zde došlo oproti 90. letům k navýšení o 0,3 m sedimentů a současná hloubka jezera je okolo 6 m.

Mimo batymetrická měření se Achima Schulte ze Svobodné univerzity v Berlíně věnoval stratigrafii sedimentů. Došel ke zjištění, že průměrný roční přírůstek sedimentů za rok je 2,2 – 2,7 cm/rok (Janský 2010).

Sledování zanášení jezera a jevů v povodí podpořila instalace čtyř měřících stanic spravovaných výzkumnou skupinou z katedry fyzické geografie a geoekologie na PřF UK v Praze v roce 2007 (obrázek 3.1). Meteorologická stanice v obci Žihle měří úhrn srážek, teplotu, vlhkost vzduchu, globální radiaci, teplotu půdy, rychlost a směr větru a atmosférický tlak. Pro tuto práci je klíčová stanice nad jezerem v obci Přehořov, která měří výšku hladiny, teplotu vody, pH, vodivost a od roku 2012 množství plavenin. Právě data o plaveninách nám poskytují informace o intenzitě eroze, transportu materiálu a dynamice zanášení jezera. Zbývající dvě stanice měří výšku hladiny u přítoku a výtoku vody z jezera. Data z těchto stanic jsou dostupná online na stránkách hydrologické výzkumné skupiny na PřF UK v Praze.

Společně se zanášením jezera materiálem je svázané snížení kvality vody a eutrofizace. Z terénního šetření bylo patrné znečištění a větší kalnost jezera, zejména po srážkoodtokových událostech. Příklady znečištění vody jsou patrné na obrázku 3.4.

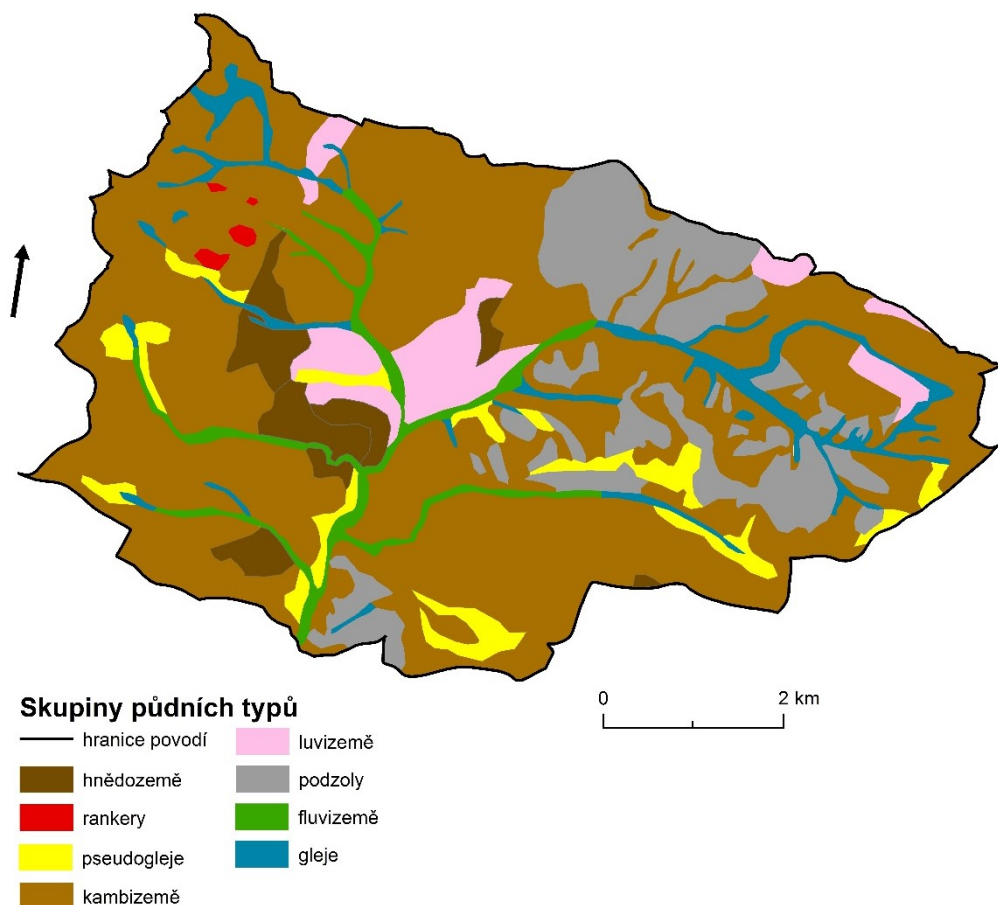


*Obrázek 3.4: Znečištění vody v Odlezelském jezeře (Kofroňová 2019).*

### **3.4 Půdní poměry**

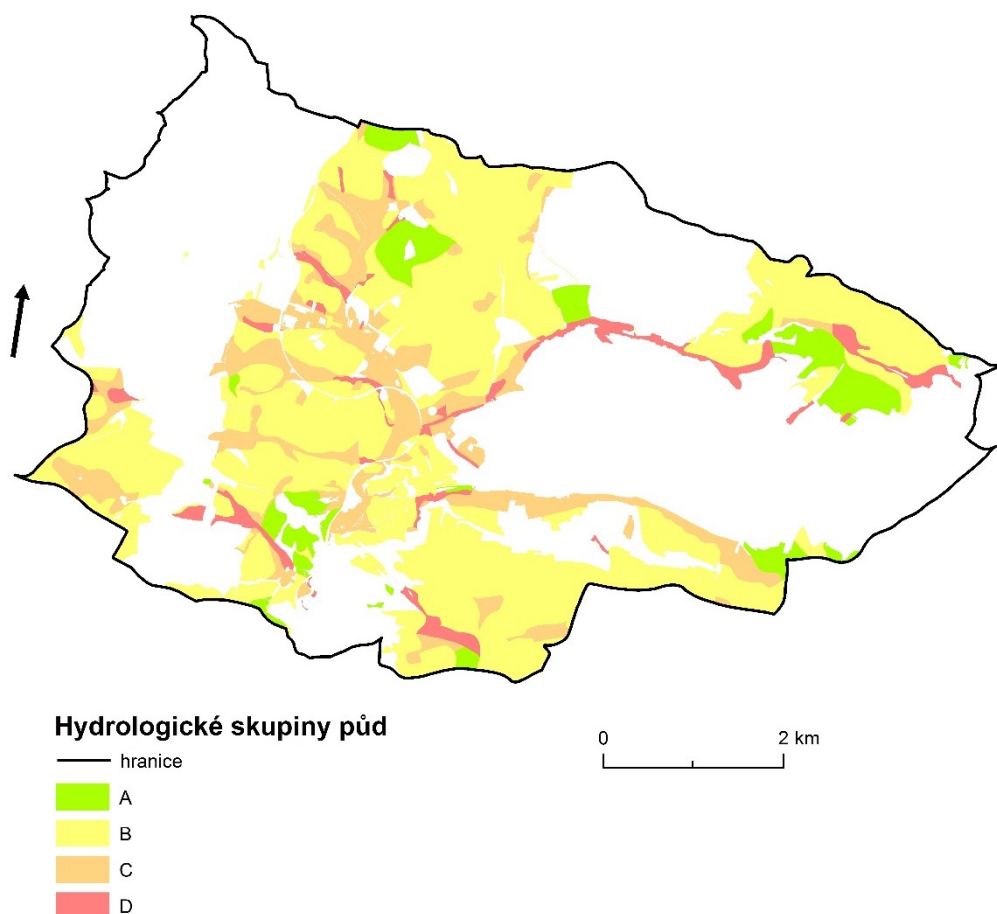
Podle databáze ČGS (2012) se na většině ploch vyskytují kambizemě a to zejména modální a acidní (obrázek 3.5). Druhým plošně největším půdním typem jsou podzoly, které se nachází v zalesněných oblastech a ve vyšších polohách východní části území. V okolí vodních toků a říčních niv se nachází fluvizemě tvořené říčními sedimenty (zejména u ústí Mladotického potoka do jezera). V některých částech povodí v okolí toků se objevují pseudogleje a gleje. Ve střední části povodí v okolí obce Žihle převládají luvizemě a hnědozemě.

Půdy jsou na většině území hluboké, místy středně hluboké. Výskyt mělkých půd je v okolí obcí Potvorov, Odlezly a Přehořov. Lokalita v oblasti Přehořova a Potvorova má větší svažitost, což pravděpodobně ovlivňuje i hloubku půdy, protože zde dochází k větší intenzitě eroze. Společně s hloubkou je ovlivněna skeletovitost orné půdy. Hluboké půdy jsou převážně bezskeletovité až slabě skeletovité, naopak středně a silně skeletovité se objevují na mělkých půdách.



Obrázek 3.5: Půdní poměry v povodí Odlezelského jezera (ČGS 2016, Pagáč 2016).

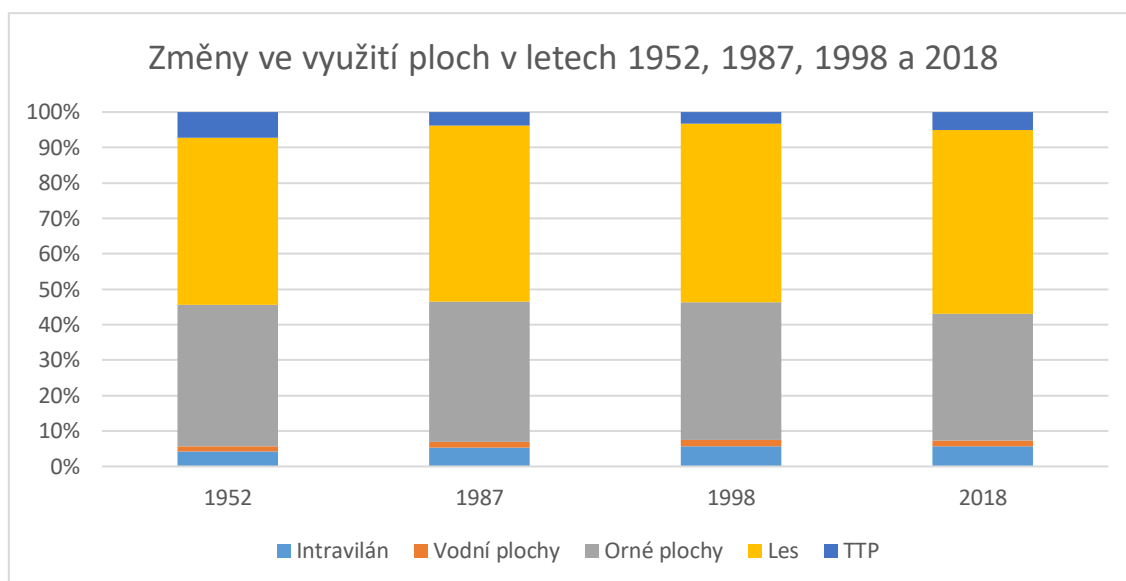
Jakým způsobem reagují půdy na srážkoodtokové události v povodí nám přiblíží obrázek 3.6, znázorňující hydrologické skupiny půd u orných ploch. Ty udávají schopnost infiltrace půdy při dlouhodobém sycení bez ochrany vegetací. Janeček (2007) klasifikuje skupiny do čtyř kategorií, přičemž skupina A má dobrou infiltraci a je typická zejména pro hluboké půdy a dobře odvodněné písky. U skupiny D je infiltrace pomalá a nízká propustnost půdních horizontů podporuje rychlejší povrchový odtok. Zde to jsou zejména jílovité půdy. Většina území orných ploch v území je přiřazena do skupin A a B, naopak snížená infiltrace je v oblasti říčních niv v blízkosti vodních toků. Ostatní plochy území nejsou bonitovány (Pagáč 2016).



Obrázek 3.6: Hydrologické půdní skupiny v povodí (VÚMOP 2016, Pagáč 2016).

### 3.5 Využití ploch (land-use)

Využití ploch v rámci celého sledovaného území v jednotlivých letech není ničím výrazně specifické. Všechny sledované roky charakterizuje plošně bohatý porost lesa, který od roku 1952 neustále zvětšuje svou rozlohu (graf 3.1). V roce 1952 les pokrýval 47,3 % plochy a v plynulém růstu se hodnota zvětšila do roku 2018 na 51,8 %. Tato změna probíhala zejména na úkor orných ploch.



*Graf 3.1: Změny ve využití krajiny v letech 1952, 1987, 1998 a 2018.*

Orné plochy jsou druhým dominantním krajinným pokryvem, u kterého se projevila opačná tendence než u lesních ploch. V roce 1952 byla rozloha orných ploch 39,8 % a v roce 2018 klesla na 35,7 %, přičemž největší pokles byl zaznamenán mezi lety 1998 a 2018. Změny mezi lety 1952 a 1987 byly minimální, nicméně kolektivizace zemědělství rapidně změnila strukturu krajiny. Změna struktury krajiny dokazuje tabulka 3.5, která znázorňuje počet parcel v povodí. V období před kolektivizací zemědělství byla krajina rozdělena na 7464 parcel. Ve vrcholném období scelování pozemků se počet parcel v ploše zmenšil o 97,8 %. Druhou zajímavou informací přineslo porovnání počtu parcel v roce 1987 a 2018, které mají téměř totožný počet, to se projevilo ve výsledcích modelování.

Počet parcel		
Rok	Absolutně	Na 1 km <sup>2</sup>
1952	7464	162.61
1987	161	3.51
1998	193	4.20
2018	162	3.53

*Tabulka 3.5: Počet parcel ve sledovaném území v jednotlivých letech.*

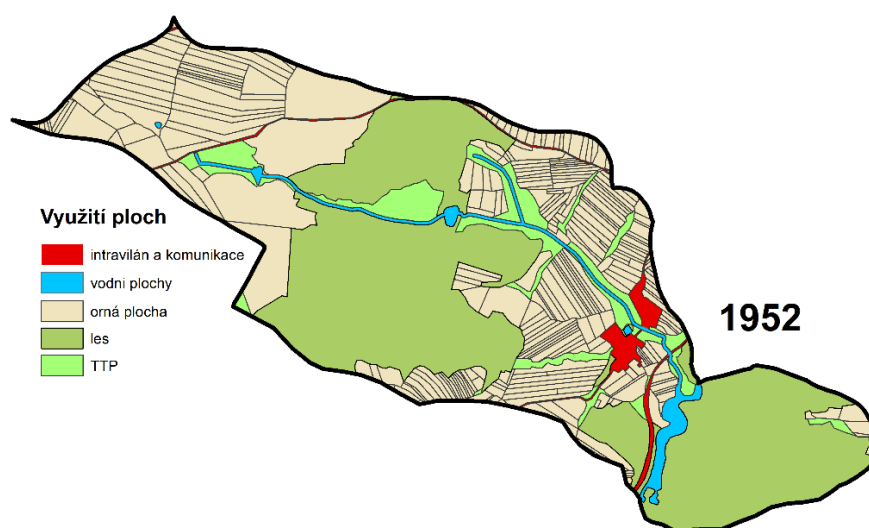
Trvale travní porosty mají relativně malé plošné zastoupení a v současnosti pokrývají 5,2 % plochy. Nejmenší rozlohu měly v období 1987 a 1998, kdy se pohybovala okolo 3,5 %. Výsledky u trvale travních porostů v letech 1952 a 1987 mohou nést určitou míru chyby, jelikož detekce z černobílých snímků při vektorizaci byla místy obtížná.

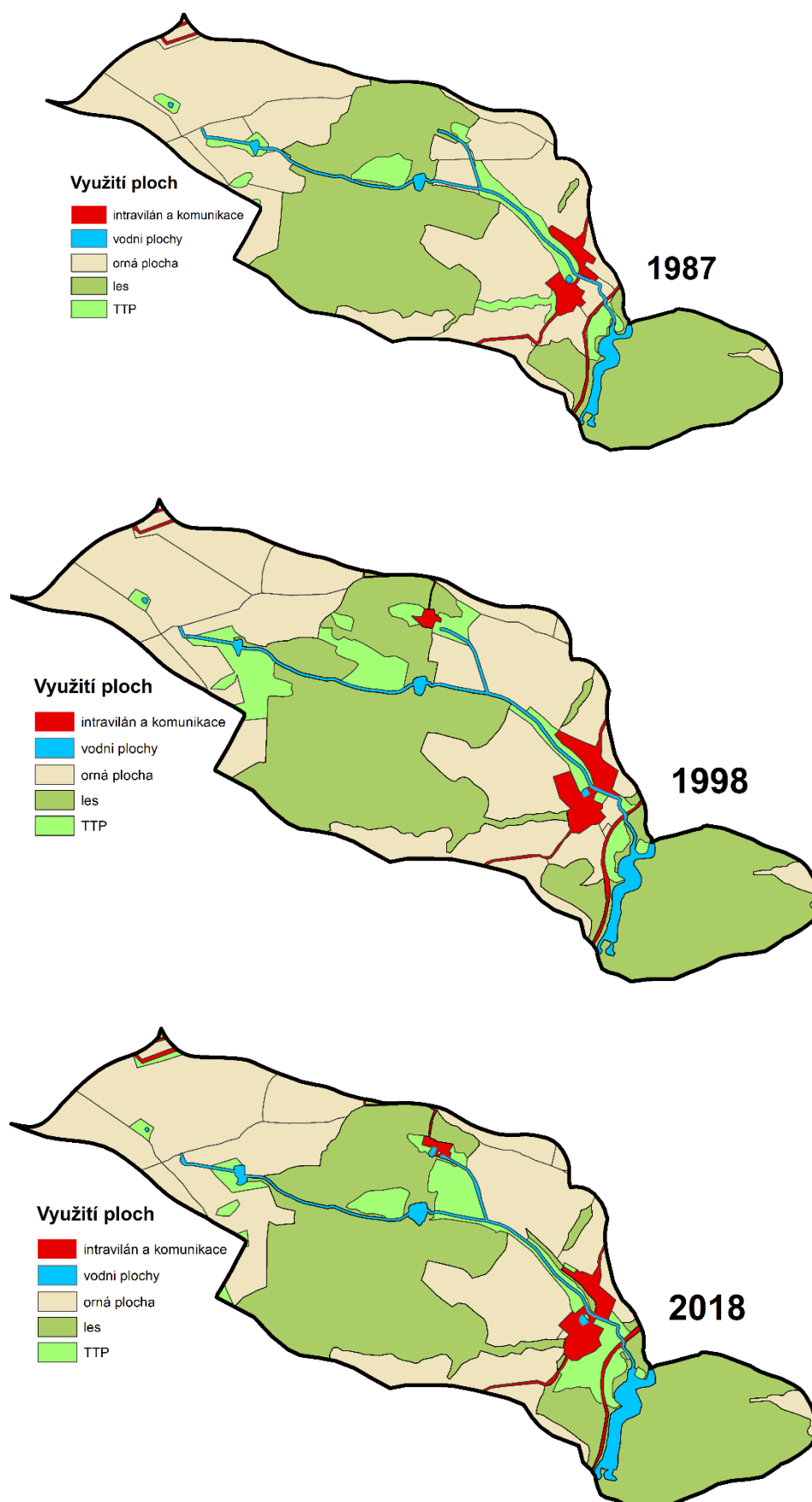
Intravilán, komunikace a vodní plochy nemají překvapivý charakter. Zástavba má vlivem rozšiřování obcí od roku 1952 do současnosti mírnou růstovou tendenci a v současnosti je v povodí 5,6 % plochy pokryto zástavbou. Vodní plochy pokrývají nepatrné množství plochy, jediná změna nastává mezi lety 1952 a 1987. V tomto období byla ukončena těžební činnost u obce Žihle a důlní sníženiny byly zatopeny.

Významné změny ovlivňující intenzitu eroze v jednotlivých letech popisují pro jednotlivé segmenty povodí zvlášť. To umožní lepší pochopení a porovnání výsledků pro jednotlivé části povodí.

### 3.5.1 Využití území v povodí Odlezelského potoka

Tato část povodí má nejmenší rozlohu. A poměr zastoupení lesního porostu a orných ploch je v jednotlivých letech je srovnatelný. Mezi nejdůležitější změny v rámci využití ploch patří zejména rozdíl ve struktuře orných ploch mezi lety 1952 a ostatními ročníky, to je patrné pro celé území Odlezelského jezera (obrázek 3.7). Druhou významnou změnou je zatravnění ploch v blízkosti jezera a v oblasti říční nivy, to je plošně nejvýznamnější v současnosti. Zatravněná niva má ochranný vliv před vstupováním sedimentů do říčního toku. V letech 1998 jsou více zatravněny a chráněny pramenné oblasti oproti roku 2018, kdy je větší zatravnění na střední, spodní části toku a v blízkosti jezera.



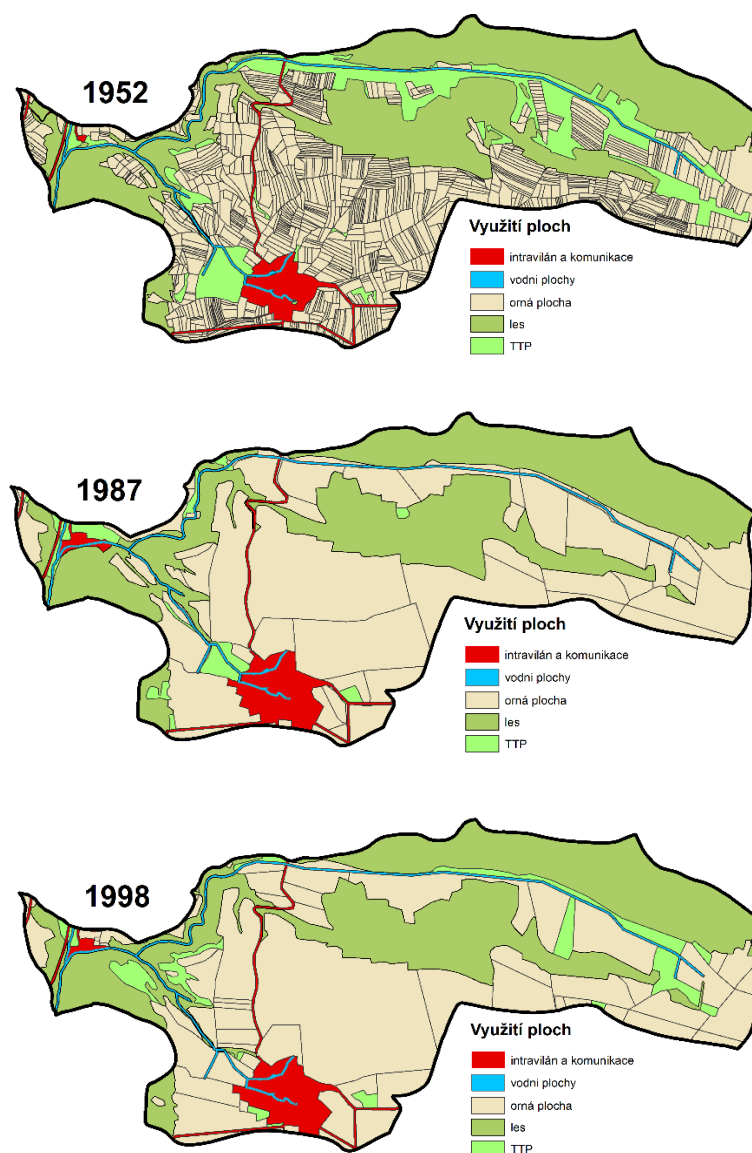


Obrázek 3.7: Využití území pro jednotlivé scénáře v povodí Odlezelského potoka.

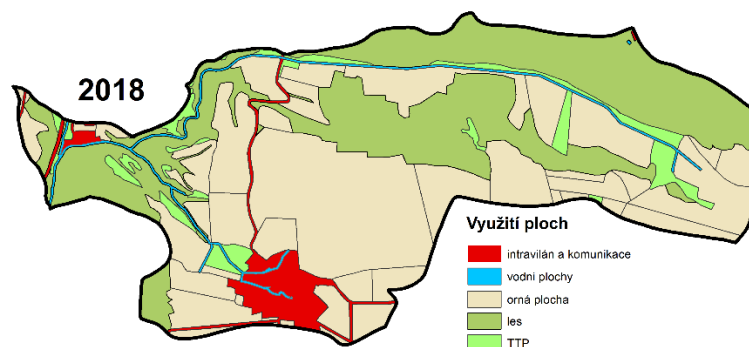


### 3.5.2 Využití území v povodí Potvorovského potoka

V obrázku 3.8 jsou znázorněny mapy využití ploch pro sledované roky. Nejvýznamnější změnou v této lokalitě je nivní oblast Bílovského potoka. Mezi lety 1952 a 1987 proběhlo rozorání zatravněných ploch z důvodu rozšíření orných ploch a zvýšení výnosů ze sklizně. To způsobilo zvýšení eroze a transport materiálu do toku. Lesy zabírají 33 % plochy, proto má tento segment v povodí zvýšenou intenzitu eroze na jeden hektar. V letech 1998 a 2018 se říční niva znovu z části zatravnila. Velikost a počet parcel v povodí se mezi těmito lety výrazně nezměnil. Z toho vyplývá, že změna intenzity eroze mezi těmito roky bude více ovlivněna jinými vstupujícími faktory, například LS a C faktorem.







Obrázek 3.8: Využití půdy v jednotlivých letech pro povodí Potvorovského potoka.

### 3.5.3 Využití území v povodí stanice Přehořov

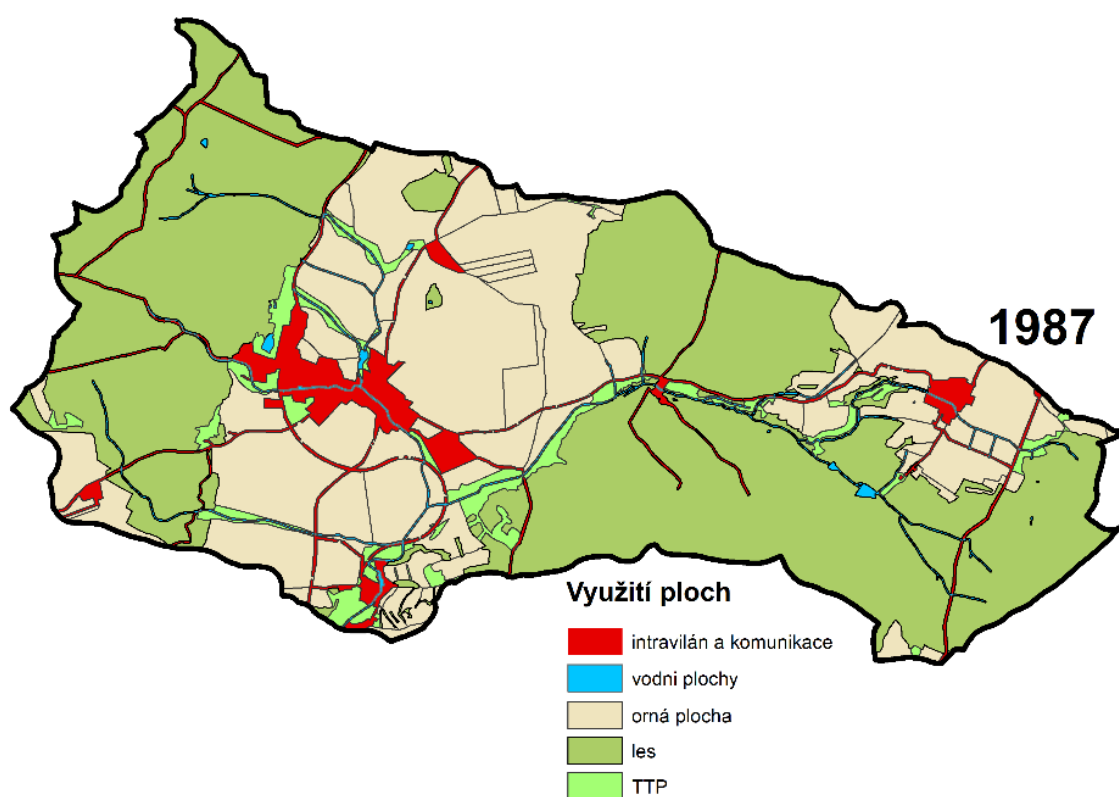
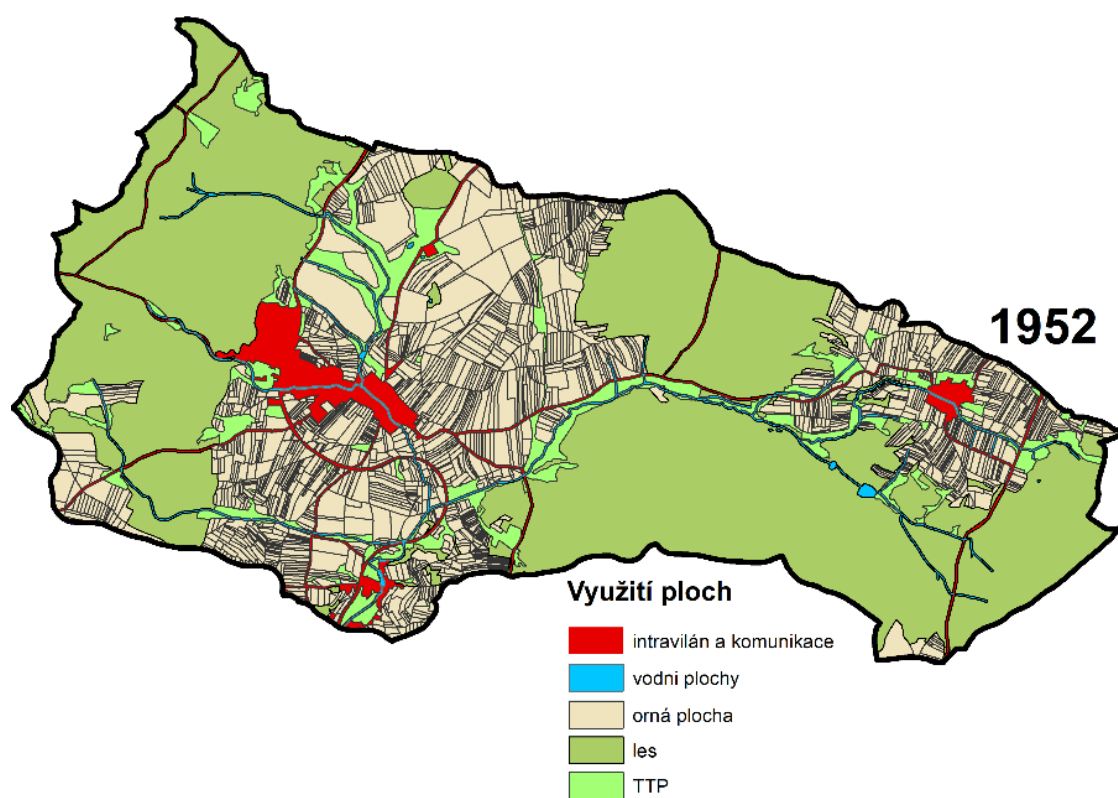
Od 50. let do současnosti proběhly největší změny ve využití krajiny právě v povodí stanice Přehořov. Zásadní změna proběhla v nivní oblasti Žihelského potoka, která byla v letech 1952 a 1987 z velká části zatravněna. Tato změna přispěla k rozšíření orných ploch. Od této doby je velká část úseku Žihelského potoka v bezprostřední blízkosti orné půdy.

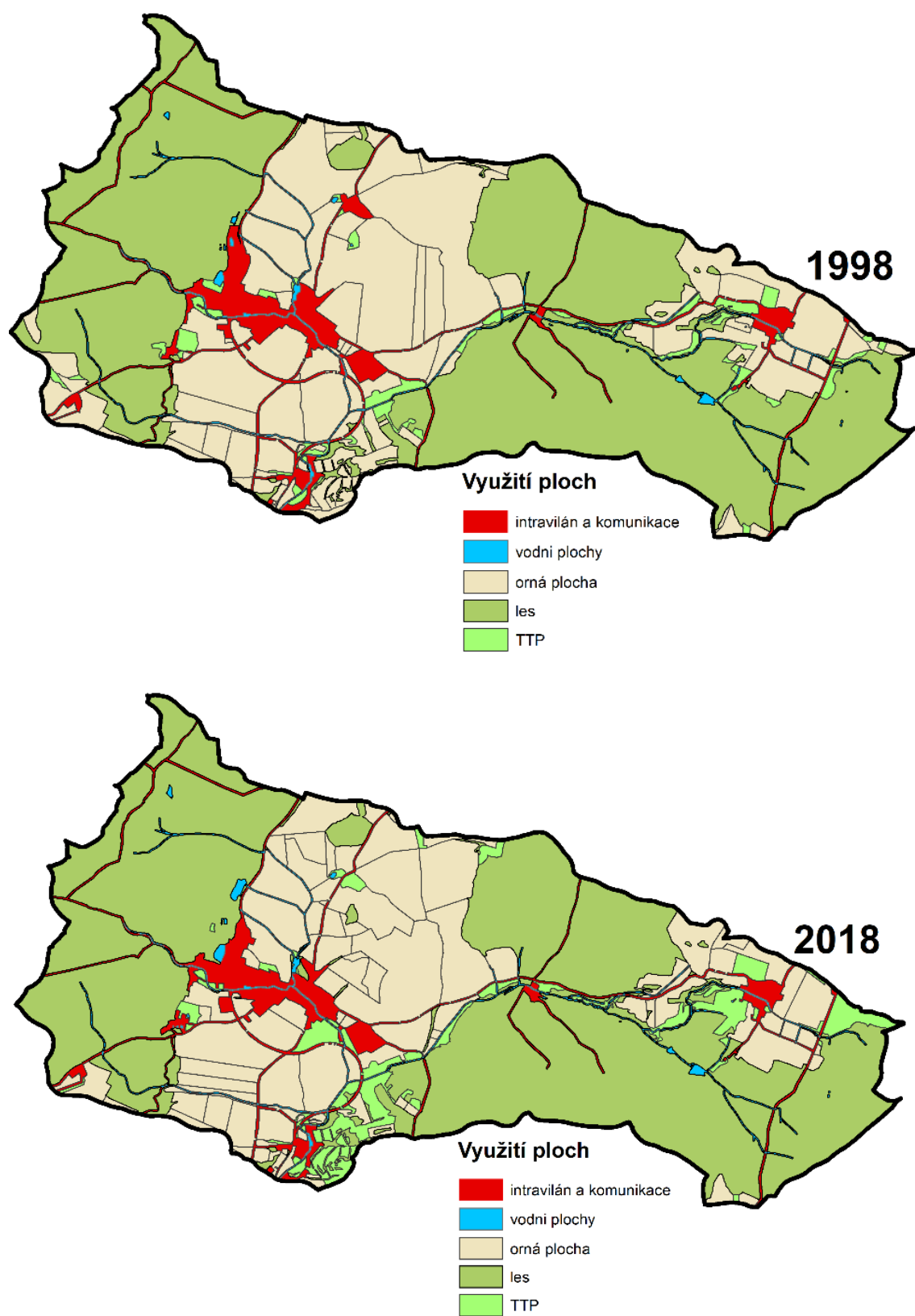
Zatravnění na větších plochách proběhlo u obce Podbořánky, kde je nově v provozu golfové hřiště. Toto zatravnění vzniklo na orných plochách. Mimo jiné jsou zde vytvořena umělá golfová jezera, které napomáhají ke zvýšení retence vody. Další zatravnění proběhlo na orných plochách v prudkém svahu u obce Přehořov, které proběhlo jako protierozní opatření. Celkem tyto zásahy navýšili podíl plochy trvale travních porostů o 2 % území mezi lety 1998 a 2018.

Na severních zemědělských plochách došlo v posledních letech k velkoplošnému vysazení rychle rostoucích dřevin. Jedná se o plochu o rozloze 3 km<sup>2</sup>, na které jsou dřeviny 2 – 6 let staré, vysázené v řádcích. Tento plošný zásah oproti předchozím letům zásadně ovlivnil, respektive snížil míru eroze v této lokalitě.

V oblasti obce Žihle probíhala v druhé polovině 20. století povrchová těžba stavebního materiálu. Způsob obnovy této těžební lokality bylo postupné zatopení důlních sníženin. Tato změna je patrná na obrázku 3.9 a proběhla v letech 1952 až 2018.

Plocha lesa v této části povodí od roku 1952 do současnosti narostla o 5,2 %. Dnes jsou lesy na 55,8 % plochy. Rozloha orné půdy mezi těmito lety klesla z 36,3 % na 31,4 % plochy.





Obrázek 3.9: Změna využití ploch v povodí stanice v Přebořově.

## 4 Metody a datové zdroje

### 4.1 Postup zpracování vstupních vrstev do modelu WaTEM/SEDEM

Přehledná charakteristika vstupních parametrů a vrstev je součástí teoretické kapitoly 2.3.3 Vstupní data. Tyto vstupy jsou vypracovány ve třech sub-povodích pro čtyři ročníky, které charakterizují změnu intenzity od 50. let do současnosti. Sledované území bylo rozděleno na tři sub-povodí, z důvodu validace modelu s naměřenými daty. Datové vrstvy jsou konstruovány pro roky 1952, 1987, 1998 a 2018. Tyto ročníky jsou vybrány na základě dostupnosti dat a relativně rovnoměrného časového rozložení, které vhodně popisuje změny intenzity eroze v rámci využití krajiny a hospodaření v Česku. Klíčová byla příprava datových podkladů z rovnice RUSLE charakterizující ztrátu půdy.

Vstupní vrstvy byly tvořeny v softwaru ArcMap v souřadnicovém systému S-JTSK a následně převedeny pomocí programu IDRISI Selva do formátu Idrisi (\*.rst). Převod dat z vektorové vrstvy na formát Idrisi je možný několika způsoby, zde popíši dva z nich. Část postupu je u obou převodů totožný. Vektorovou vrstvu převedu pomocí nástroje *Feature to raster* do rastrové podoby. U tohoto převodu je nutné nastavení stejného lícování nového rastru na DMT čili nastavení stejné velikosti pixelu. Následně se postup různí.

a) Rastrový soubor dále převedu do formátu ASCII pomocí nástroje *Raster to ASCII*. Tento postup data transformuje do textového souboru, který následně importuji do programu IDRISI Selva. Podrobný postup je *File/import/Software a Specific Format/Esri Formats/ARCRASTER*. Zde si zvolím převod z ASCII do \*.rst a nahraji potřebná data. Tímto je převod hotov.

b) V této variantě převodu je místo programu IDRISI Selva použit program SAGA GIS, do kterého importuji přímo raster čili *Import/Grids/Import ESRI Arc/ Info Grid*. Následně data exportuji *Export/ GDAL/ORG/Export raster*, zde musím vybrat formát exportu *Idrisi Raster A.1* (dopsat za jméno souboru .rst) a je převod u konce.

Pro převod dat v této práci jsem využil první popsany postup. Jelikož množství dat nebylo rozsáhlé, aplikoval jsem tento manuální postup. V případě převodu většího množství dat lze použít automatickou metodu převodu.

## 4.2 DMT – digitální model terénu

Tento model popisuje morfologii sledovaného území a je klíčovou součástí modelu při stanovení ztráty půdy a následného transportu. Přímou ovlivňuje kvalitu výstupů a výsledků, protože na tento model jsou následně lícovány všechny ostatní vrstvy. Pro modelování všech ročníků jsem použil DMT 5G od ČÚZK, který je převzorkován v ArcMap pomocí nástroje *Resample* (lze využít nástroj *Aggregate*) do velikosti rozlišení  $10 \times 10$  metrů. Snížení rozlišení bylo nutné učinit na základě zkušeností s aplikací modelu v jiných pracích v Česku. Například toto rozlišení doporučuje Bauer (2018). Původně byl model při svém vzniku konstruován pro rozlišení  $20 \times 20$  metrů a následnou validaci modelu autora Krásky v českém prostředí se prokázalo, že lze model aplikovat i pro rozlišení  $10 \times 10$  metrů. Modelování v podrobnějším rozlišení, například  $5 \times 5$  metrů či užití DMT 4G nebo DMT 5G, není dostatečně validováno pro České území. V literatuře se objevují první validace v rozlišení  $5 \times 5$  m, viz teoretická část v kapitole 2.3.6 Užití a verifikace modelu ve světě a v Česku. Nicméně těchto prací není dostatečné množství a je zde prostor pro další výzkum. Při užití modelování v podrobnějším rozlišení je zde riziko, že bude hydrologický výpočet zatížen podrobností dat a následně zde mohou vznikat chyby v transportu sedimentů. Nicméně byl aplikován DMT 5G pro stejnou datovou sadu pro rok 2018 z důvodu porovnání výsledků s různým rozlišením.

Z DMT byly odstraněny bezodtoká místa pomocí nástroje *Fill*, autor Krása (2004) doporučuje použít metodu „*Pit removal*“. DMT musí mít dostatečně velký přesah přes hranice sledovaného území, kvůli správnému vypočtení odtokových charakteristik.

Pro ročníky 1987, 1998 a 2018 byl použit stejný DMT. Pouze u ročníku 1952 byl DMT upraven pomocí topografických nástrojů v ArcMap, aby odpovídal změnám v říční síti.

## 4.3 Mapa parcel (Parcel map)

Mapa parcel vznikla reklasifikováním mapy využití ploch v dané sledované lokalitě podle tabulky 2.1, ve které se jednotlivým kategoriím Land-use přidělil odpovídající identifikátor.

Mapy využití ploch vznikaly z databáze LPIS (pro rok 2018) a doplněním následnou vektorizací leteckých ortofoto snímků. Mapy parcel pro ostatní ročníky, kromě

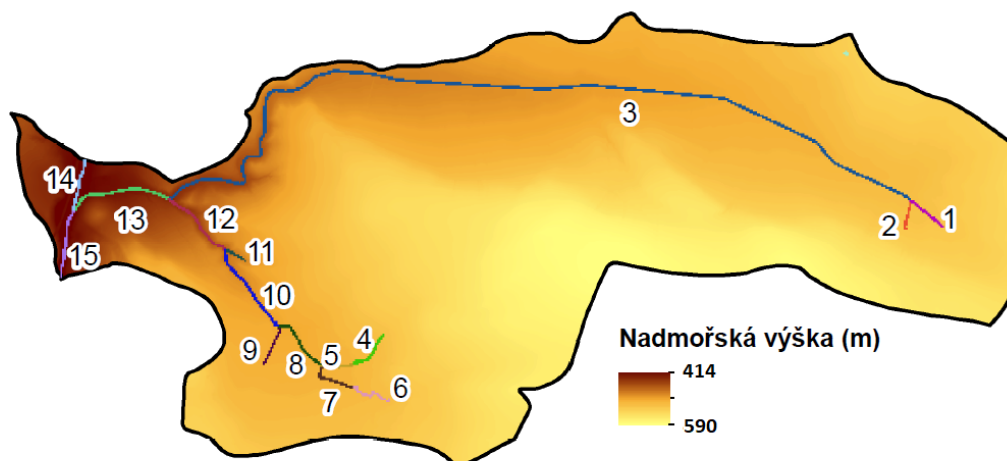
roku 2018, byly vytvořeny pouze vektorizací ortofoto snímků. Pro roky 1998 a 2018 byly použity snímky v podobě WMS od ČÚZK. Pro zbylé ročníky 1952 a 1987 byly využity archivní vojenské letecké snímky z VGHMÚř Dobruška. U archivních leteckých snímků bylo nutné georeferencování dat z důvodu přesného nalícování vrstev.

Liniové prvky (cestní a říční síť) byla implementována v závěru vektorizace. Do kategorie cestních sítí byly přiřazeny zpevněné cesty a železnice, které zajišťují 100% zachyt transportovaného materiálu. Součástí cestní sítě byly akceptovány propustky, které jsou zmapované v ZM 1:5000 (ČÚZK 2019), a které umožňují transport materiálu skrze cestní síť. Šířka propustku byla v rámci podrobností rastrů nejmenší možná čili velikost jednoho pixelu (10 m).

Data vodních ploch a říční sítě byly převzaty z databáze DIBAVOD. Říční síť z důvodu použití podrobnosti  $10 \times 10$  metrů musela být uměle rozšířená (Buffer = 8 m) tak, aby došlo ke správnému zobrazení toků v rastru a byl zachován transport plavenin. Tento postup navýší množství materiálu v toku a omezí ochranný vliv zatrávněných či zalesněných říčních niv. Podrobné dělení vodních toků je popsáno v následující kapitole.

#### **4.4 Říční síť a vodní plochy (River routing a Ponds)**

Vstupní vrstva river routing je klíčová pro získání výsledků charakterizující množství transportujícího materiálu vodním tokem a jeho zadanými úseky až do závěrového profilu. Pro roky 1987, 1998 a 2018 vstupují pro všechna sub-povodí stejné vrstvy river routing. Rok 1952 má některé úseky toku pozměněné, jelikož neproběhla meliorační úprava částí toku. Pro zkonstruování návaznosti říční sítě je daná říční síť rozsegmentována na co nejmenší úseky popisující jak říční síť, tak vodní plochy. Rozdělení říční sítě je demonstrováno na obrázku 4.1, na kterém je znázorněn úsek Potvorovského potoka.



Obrázek 4.1: Segmenty říční sítě pro model WaTEM/SEDEM v povodí Potvorovského potoka.

Spolu s rastrovou vrstvou říčních toků je nutné do modelu zadat textový soubor návazností jednotlivých úseků zobrazený na obrázku 4.2. Každý úsek toku má přiřazený identifikátor odpovídající zadanému očíslování (první sloupec), a dále je přiřazen výchozí uzel (druhý sloupec) a konečný uzel (třetí sloupec). V posledním sloupci je délka toku v daném segmentu. Jelikož tento sloupec nevstupuje do výpočtu, mohou být udané hodnoty charakterizovány jakýmkoliv číslem. Podle tohoto klíče model transportuje a sčítá množství plavenin v toku.

idrid	FNODE_	TNODE_	length_arc_
1	1	2	100
2	3	2	100
3	2	4	100
4	5	6	100
5	6	7	100
6	8	9	100
7	9	7	100
8	7	10	100
9	11	10	100
10	10	12	100
11	13	12	100
12	12	4	100
13	4	14	100
14	15	14	100
15	14	16	100

Obrázek 4.2: Vstupní vrstva river routing s uzlovými body pro směřování toků.

Tuto vrstvu mohu vytvořit buďto v ArcMap nebo mohu použít podle Notebaerta a kol. (2006) nástroj Eromat River Routing, který je součástí modelu WaTEM/SEDEM. Pro tuto práci byla vrstva tvořena v ArcMap a stanovení jednotlivých segmentů proběhlo manuálně. U větších území, které obsahují desítky až stovky toků, je nutné zajistit automatizaci číslování jednotlivých segmentů, tu aplikoval například Bauer (2018).

Vrstva ponds popisuje vodní plochy ve sledovaném území a vstupuje do modelování v podobě rastru. Vodní plochy nesou identifikátor, který stanovuje procento zachycení materiálu, ostatním plochám je přiřazena hodnota 0. Pro toto modelování jsou součástí této vrstvy nádrže, které nejsou napojeny na hydrografickou síť. Všem nádržím je přiřazen poměr zachycení 100 %, a tím jsou brány jako erozní pasti ve krajině. Zde dochází ke zkreslení reálného transportu sedimentů, a jelikož tyto nádrže nemají velké zastoupení plochy, je míra zkreslení celkových výsledků zanedbatelná.

Zachycení množství plavenin ve vodních plochách na toku je dopočteno podle metodiky Brunne (1953) z výsledných dat pro jednotlivé úseky toků. Z doporučení Hany Beitlerové z VÚMOP a Miroslava Bauera z katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství na ČVÚT vyplývá, že lze akumulaci v takto malých nádržích zanedbat.

#### **4.5 C faktor (ochranný vliv vegetace)**

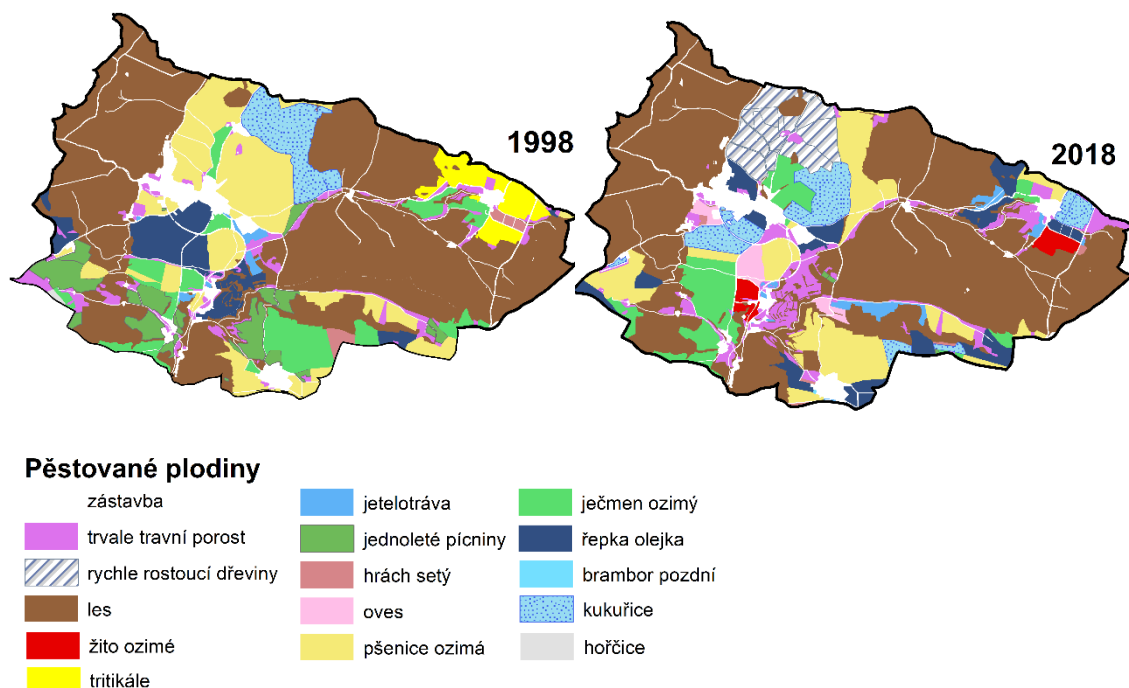
Ochranný faktor vegetace je pro roky 2018 a 1998 vytvořen z mapy parcel, do které jsou přiřazeny průměrné roční hodnoty C faktoru podle metodiky Janečka a kol. (2012) zobrazené v tabulce 4.1. Pěstované plodiny ve sledovaném území pro rok 2018 stanovil terénním průzkumem autor této práce. Rozložení plodin z 98 % orných ploch odpovídalo jednotlivým celkům v rámci databáze LPIS. Ve zbylých 2 % plochy byla hodnota C faktoru dopočítána váženým průměrem. Pěstované plodiny v roce 1998 zjistil, rovněž terénním průzkumem, Zdeněk Kliment. Plánované zahrnutí osevních postupů ve sledovaném území nebylo možné implementovat do modelování, jelikož zemědělské spolky a subjekty, které na daném místě hospodaří, nekomunikovaly nebo neposkytly data. Pěstované plodiny v povodí Odlezenského jezera pro oba ročníky jsou uvedeny na obrázku 4.3.



Plodina	C faktor	Plodina	C faktor
pšenice ozimá	0,12	chmelnice	0,8
žito ozimé	0,17	řepka ozimá	0,22
ječmen jarní	0,15	slunečnice	0,6
ječmen ozimý	0,17	mák setý	0,5
oves	0,1	ostatní olejniny	0,22
kukuřice na zrna	0,61	kukuřice na siláž	0,72
luštěniny	0,05	jednoleté píce	0,02
brambory rané	0,6	víceleté píce	0,01
brambory pozdní	0,44	zelenina	0,45
travní porost	0,005	sady	0,45
les	0,008		

Tabulka 4.1: Průměrné hodnoty C faktoru pro pěstované plodiny (Janeček a kol. 2012).

Plodiny, které byly pěstovány v roce 1952 a 1987 nebylo možné zjistit, proto byla převzata pro tyto ročníky nejbližší možná dostupná data charakterizující dlouhodobé průměrné hodnoty C faktoru pro jednotlivé okresy z let 1995 – 2001. Tato data pro 77 okresů poskytuje ČSÚ a zpracoval je Bauer (2018). Povodí Odlezenského jezera leží v okrese Plzeň-sever a pro tento okres je hodnota **C faktoru 0.189**. Ve výsledcích pro rok 1987 předpokládáme, že se osevnické postupy oproti letům 1995 – 2001 příliš nezměnily. Výsledky z roku 1952, ve kterém ještě neproběhla kolektivizace zemědělství, budou daleko více negativně ovlivněny.



Obrázek 4.3: Pěstované plodiny v povodí Odlezenského jezera.

## 4.6 K faktor (faktor erodovatelnosti půd)

Stanovení K faktoru je možné několika způsoby. Janeček a kol. (2012) stanovuje tři postupy. V české literatuře je nejběžnější způsob stanovení K faktoru pomocí hlavních půdních jednotek HPJ, které jsou součástí bonitační soustavy půd (BPEJ), Takto postupovaly například Vysloužilová (2010), Krása (2004) nebo Krása (2010). Pro tyto kategorie HPJ v je v metodice Janečka a kol. (2012) stanovena průměrná hodnota K faktoru. Stejná metoda je aplikována i v této práci. Podrobný popis BPEJ kódu lze najít na webových stránkách VÚMOPu (2019). V tabulce 4.2 jsou zobrazeny průměrné hodnoty K faktoru podle HPJ (Janeček a kol. 2012).

HPJ	K-faktor	HPJ	K-faktor	HPJ	K-faktor
1	0.41	27	0.34	53	0.38
2	0.46	28	0.29	54	0.40
3	0.35	29	0.32	55	0.25
4	0.16	30	0.23	56	0.40
5	0.28	31	0.16	57	0.45
6	0.32	32	0.19	58	0.42
7	0.26	33	0.31	59	0.35
8	0.49	34	0.26	60	0.31
9	0.60	35	0.36	61	0.32
10	0.53	36	0.26	62	0.35
11	0.52	37	0.16	63	0.31
12	0.50	38	0.31	64	0.40
13	0.54	39	nedostatek dat	65	nedostatek dat
14	0.59	40	0.24	66	nedostatek dat
15	0.51	41	0.33	67	0.44
16	0.51	42	0.56	68	0.49
17	0.40	43	0.58	69	nedostatek dat
18	0.24	44	0.56	70	0.41
19	0.33	45	0.54	71	0.47
20	0.28	46	0.47	72	0.48
21	0.15	47	0.43	73	0.48
22	0.14	48	0.41	74	nedostatek dat
23	0.25	49	0.35	75	nedostatek dat
24	0.38	50	0.33	76	nedostatek dat
25	0.45	51	0.26	77	nedostatek dat
26	0.41	52	0.37	78	nedostatek dat

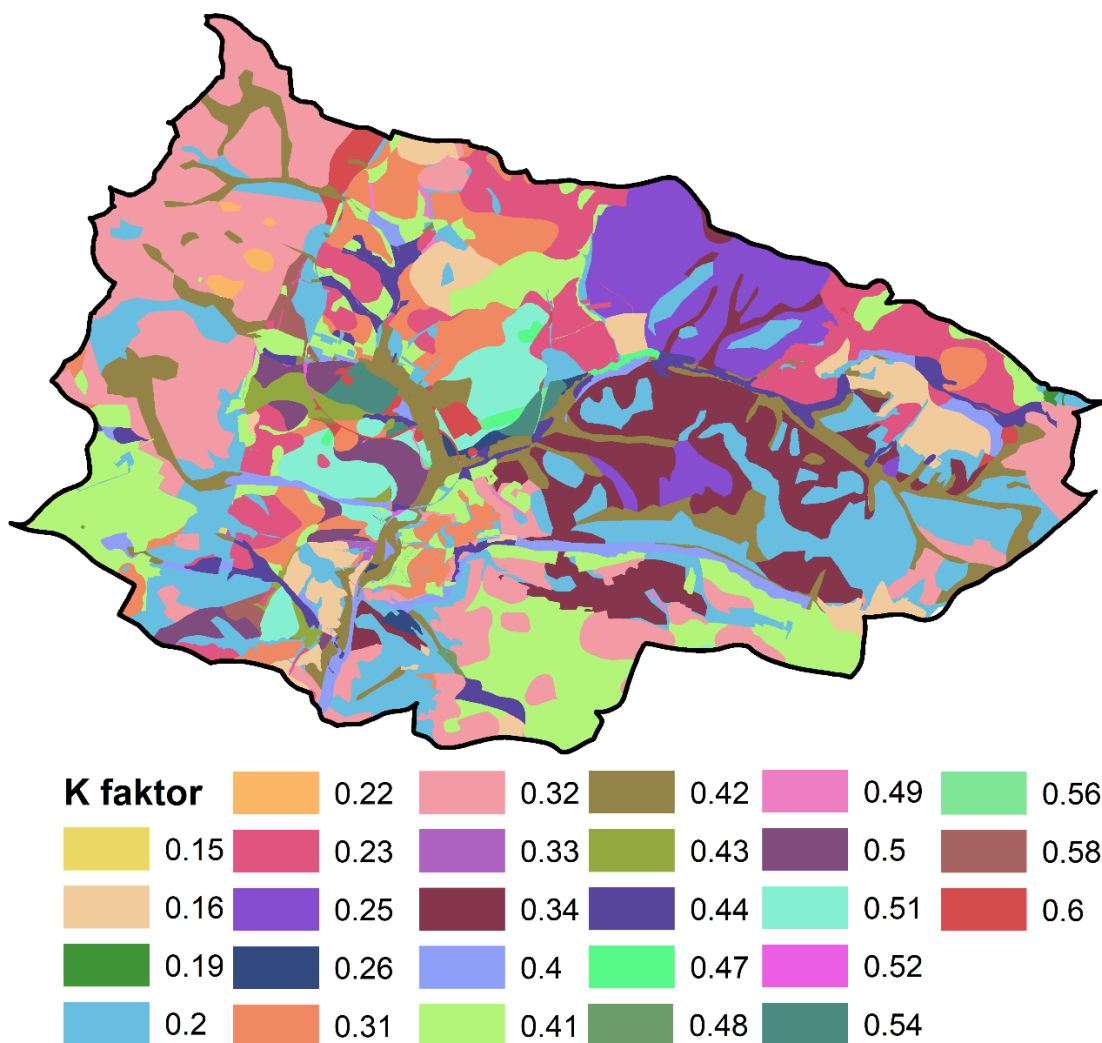
Tabulka 4.2: Průměrné hodnoty K faktoru pro HPJ (Janeček a kol 2012).

BPEJ kódy popisují pouze ornou plochu daného území, jelikož je téměř polovina sledovaného území pokryta lesy, ke stanovení K faktoru na lesních plochách byla použita databáze ČGS v měřítku 1: 50 000 (2012). Ačkoliv je míra eroze na lesních plochách minimální, z důvodu celistvosti dat byla použita data ČGS. Tato databáze popisuje rozložení půdních typů a subtypů. K těmto datům byla přiřazena dlouhodobá průměrná hodnota pro půdní typy a subtypy podle metodiky Janečka a kol. (2012) znázorněná v tabulce 4.3.

Půdní typ	Subtyp	K faktor	Půdní typ	Subtyp	K faktor
Ranker	modální	0.26	Šedozem	modální	0.57
	kambický	0.25		luvická	0.59
	podzolový	0.24	Hnědozem	modální	0.53
Rendzina	modální	0.22		luvická	0.58
	kambická	0.30		oglejená	0.53
Pararendzina	modální	0.26	Luvizem	modální	0.60
	kambická	0.36		oglejená	0.56
	oglejená	0.24		arenická	0.31
Regozem	modální	0.22	Kambizem	modální	0.33
	psefitická	0.18		modální (eutrofní)	0.32
	arenická	0.17		luvická	0.50
	pelická	0.18		oglejená	0.34
Fluvizem	modální	0.40		dystrická	0.32
	glejová	0.42		arenická	0.20
	arenická	0.26		pelická	0.30
Smonice	modální	0.28		psefitická	0.30
Černozem	modální	0.40	Kryptopodzol	modální	0.20
	luvická	0.54	Podzol	modální	0.25
	černická	0.35		arenická	0.20
	arenická	0.16	Pseudoglej	modální	0.42
	pelická	0.28		luvická	0.54
Černice	modální	0.30		glejový	0.24
	glejová	0.34	Glej	modální	0.42
	pelická	0.32		modální (zrašeliněný)	0.46

Tabulka 4.3: Průměrné hodnoty K faktoru pro půdní typy a subtypy (Janeček a kol. 2012).

Pro všechny modelované ročníky 1952, 1987, 1998 a 2018 byla použita stejná vstupní data K faktoru. Předpokládá se, že se charakteristika půd od 50. let 20. století příliš nezměnila. Vstupní vrstva K faktoru je zobrazena na obrázku 4.4.



Obrázek 4.4: Vstupní vrstva K faktoru pro celé povodí Odlezelského jezera.

#### 4.7 R faktor (faktor erozní účinnosti deště)

Hodnota R faktoru pro malá povodí (desítky km<sup>2</sup>) vstupuje jako jedna číselná hodnota. Jelikož má sledované území rozlohu 45,6 km<sup>2</sup>, aplikuji pro modelování eroze v tomto povodí číselnou hodnotu R faktoru. Josef Krása doporučil na základě dostupných dat z roku 2013 stanovit hodnotu faktoru na 52 MJ \* ha<sup>-1</sup> \* cm \* h<sup>-1</sup>, přičemž připustil, že v následujících letech bude hodnota nižší. Z důvodu náročnosti výpočtu byla přesná hodnota faktoru stanovena s pomocí Jiřího Brychty. Podle metodiky Janečka a kol. (2012) je dlouhodobá průměrná hodnota faktoru 34,2 MJ \* ha<sup>-1</sup> \* cm \* h<sup>-1</sup>. Hodnota byla vypočítána z 30letých ombrografických záznamů ze stanic ČHMÚ, do kterých byly zahrnuty srážky s úhrnem větším než 12,5 mm a s intenzitou větší než 6,25 mm za 15 minut. Tato hodnota pravděpodobně lépe vystihuje erozi v povodí a vstupuje do výpočtu

pro všechny modelované ročníky s předpokladem minimální změny dlouhodobé průměrné hodnoty od 50. let.

#### 4.8 Nastavení parametrů a validace výsledků modelu

V teoretické části byly popsány tři základní kalibrační parametry modelu. Parametry PTEFF (parcel trap efficiency), parcel connectivity a kalibrační koeficient transportní kapacity ( $K_{TC}$ ). Tyto parametry jsou klíčové pro stanovení míry eroze a transportu materiálu. Pro toto modelování bylo použito přednastavení modelu autorů Krása a kol. (2013), kteří ve své práci kalibrovaly model WaTEM/SEDEM pro české prostředí. Přehled doporučených hodnot parametrů je zobrazen v tabulce 4.4.

Parametry modelu (Krása a kol. (2013))	Orná půda	Les	TTP
PTEFF (parcel trap efficiency)	0	75	75
Parcel connectivity	40	75	
KTC (low a high)	35	55	

Tabulka 4.4: Doporučené parametry nastavení modelu (Krása a kol.2013).

Při hledání vhodného nastavení těchto parametrů bylo v počáteční testovací fázi modelování použito stejné nastavení modelu jako v diplomové práci Barbory Vysloužilové (2010), nicméně výsledky a hodnoty plavenin v toku byly oproti naměřeným datům extrémně vysoké. Parametry použité ve fázi testování práce jsou uvedeny v tabulce 4.5.

Parametry modelu (Vysloužilová 2010)	Orná půda	Les	TTP
PTEFF (parcel trap efficiency)	0	75	75
Parcel connectivity	10	75	
KTC (low a high)	100	200	

Tabulka 4.5: Parametry nastavení modelu (Vysloužilová 2010).

Z důvodu nepřesných výsledků vycházející z nastavení modelu Barbory Vysloužilové (2010) jsem pro další modelování užíval validované nastavení parametrů autorů Krása a kol. (2013).

Poslední parametry, které nebyly definovány, se týkají metodiky výpočtu LS faktoru. Toto nastavení bylo u autorů Krása a kol. (2013), Bauer (2018) i Barbora Vysloužilová (2010) stejné. Čili LS faktor byl vypočítán podle metodiky McCool (1987, 1989), stejně tomu bylo i u stanovení charakteristiky exponentů délky svahů (m),

kde hodnota  $m$  charakterizuje jak plošnou, tak rýhovou erozi. V této práci byla metoda výpočtu LS faktoru převzata ze zmiňované literatury.

K validaci modelu nebyly použity pouze cenné zkušenosti z aplikací modelu jiných autorů v českém prostředí, ale výsledky modelování, které se týkaly sub-povodí stanice Přehořov v roce 2018, byly konfrontovány s průměrnými naměřenými daty plavenin z let 2012 – 2018 na stanici v obci Přehořov. Na základě tohoto porovnání jsem se přiklonil k nastavení parametrů modelu autorů Krásy a kol. (2013).

Validační hodnota je:

$$Gr_{(2012 - 2018)} = 144,5 \text{ t/rok}$$

Podle popsané metodiky s doporučeným nastavením parametrů autorů Krásy a kol. (2013) model v závěrovém profilu stanice vykazoval hodnotu **279,5 t/rok**. Autor Bauer (2018) ve své práci uvádí, že pokud nemáme přesná data zachyceného množství sedimentů v jednotlivých nádržích, lze obtížně porovnávat výsledky s naměřenými daty, proto dosažení řádové přesnosti může být uspokojivým výsledkem.

Na základě těchto skutečností byly uznány výsledky validace a nastavení parametrů modelu jako dostačující.

Hodnoty v tabulce 4.6 demonstrují, jak je ovlivněno množství přitékajících plavenin podle podílu depozice nádrží. V říční síti je pouze 7 drobných rybníčních nádrží, přesto se množství vstupujících plavenin do jezera podstatně liší. Z této tabulky je patrné, že použité poměry zachycení mají na výsledek validace modelu zásadní vliv.

<b>Poměr zachycení (%)</b>	<b>1952</b>	<b>1987</b>	<b>1998</b>	<b>2018</b>	<b>Stanice Přehořov</b>
Podle Brune (1953)	1022	1127	876	832	280
25 %	1003	1161	892	856	265
50 %	805	933	676	712	179
75 %	624	720	481	578	102
90 %	525	600	375	501	60

*Tabulka 4.6: Míra sedimentů (t/rok) vstupujících do Odlezenského jezera podle poměru zachycení sedimentů v sedmi nádržích v povodí.*

Řešení lze najít dvěma způsoby. Buďto je možné zjistit přesné poměry rybníčních nádrží, nebo hledat validační hodnoty v částech povodí bez vodních nádrží.

## 5 Výsledky

Z důvodu zachování přehlednosti relativně velkého množství dat budou mimo jiné rozebírány výsledky jednotlivých ročníků modelování z let 1952, 1987, 1998 a 2018 pro každé sub-povodí zvlášť. Model poskytuje výsledky v rastrových datech, u kterých podrobnost odpovídá vstupním datům. Hlavní výsledky modelování jsou uvedeny v jednotkách  $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ .

Metodika vzniku jednotlivých vstupní vrstev nebyla z důvodu nedostupnosti dat pro všechny ročníky jednotná, proto nelze porovnávat jednotlivé variability eroze či akumulace v povodí napříč všemi vstupními informacemi. Například C faktor byl stejnou metodikou vytvořen pro roky 1998 a 2018, bohužel v ostatních dvou letech z nedostatku dat byl C faktor pro celé území popsán dlouhodobou průměrnou hodnotou. Tento fakt nám znemožňuje porovnávat variabilitu eroze a akumulace ve vztahu k C faktoru. Při hodnocení celkových přehledových výsledků intenzity eroze, akumulace a množství vstupujícího materiálu do toku musíme mít na paměti metodiku použitou pro jednotlivé ročníky.

### 5.1 Hlavní výsledky v povodí Odlezelského jezera

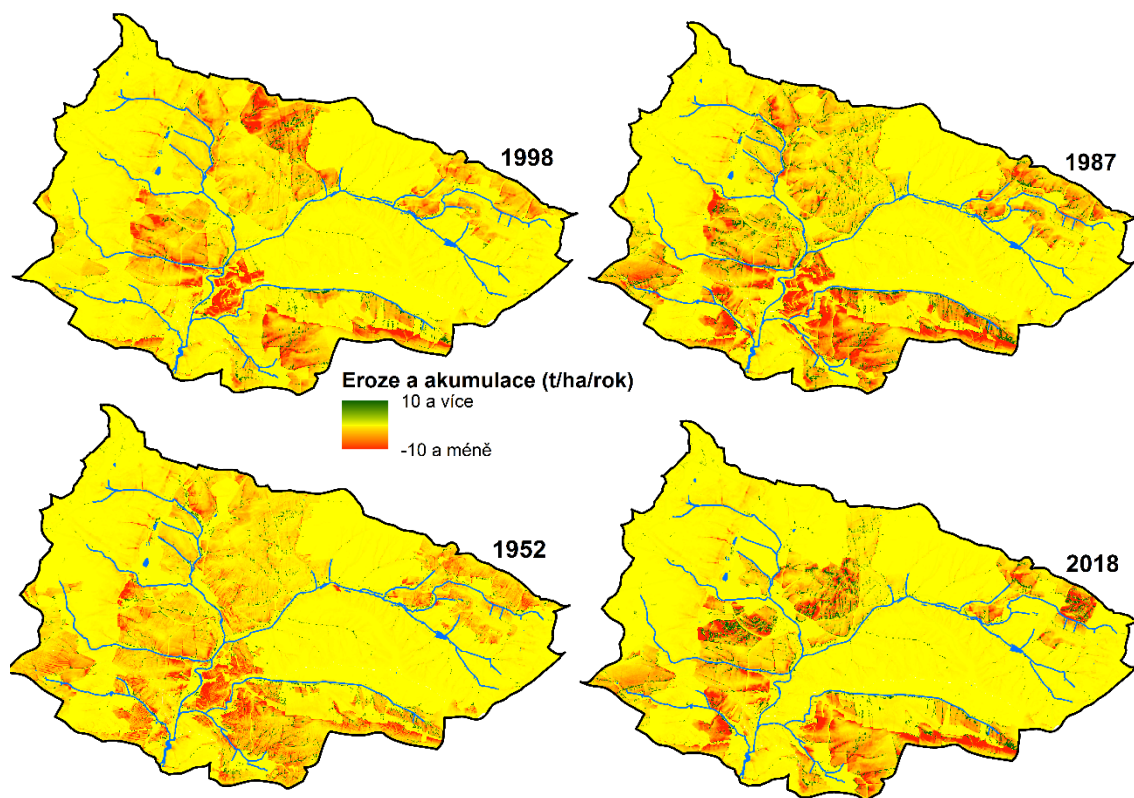
Z hlavních výsledků pro celé území vyplývá, že oblast není a v modelovaných letech nebyla nijak extrémně zatížena nebo ohrožena vodní erozí. Protože intenzita eroze na hektar přesáhla hodnotu  $2 t/ha/rok$  pouze v roce 1987. Janeček a kol. (2012) stanovili mez na dlouhodobě tolerovanou ztrátu půdy na  $4 t/ha/rok$ , což ukazuje, že v roce 1987 byla intenzita na 54 % této tolerované hodnoty. Z výsledků v grafu 5.1 vyplývá, že v roce 2018 akumulovalo 86 % veškerého erodovaného materiálu, ještě před kontaktem s říční sítí. Nejmenší poměr zachycení je v roce 1952, ve kterém deponovalo před vstupem do toku 81 % materiálu.

Roky 2018 a 1952 mají podobnou intenzitu eroze, a to o 24 % nižší než v roce 1987, nicméně parcely v roce 2018 mají větší schopnost akumulovat sedimenty. V roce 2018 se dostalo do říčních koryt 721 tun materiálu, což bylo v porovnání s ostatními ročníky nejméně, ale je nutné podotknout, že tato hodnota nezahrnuje sedimentaci ve vodních plochách. Absolutní hodnoty výsledků jsou znázorněny v tabulce 5.1 a hlavní

mapový výstup rozložení intenzity je zobrazen na obrázku 5.1, podrobnější hodnocení těchto výsledků bude popsáno v rámci výsledků sub-povodí.

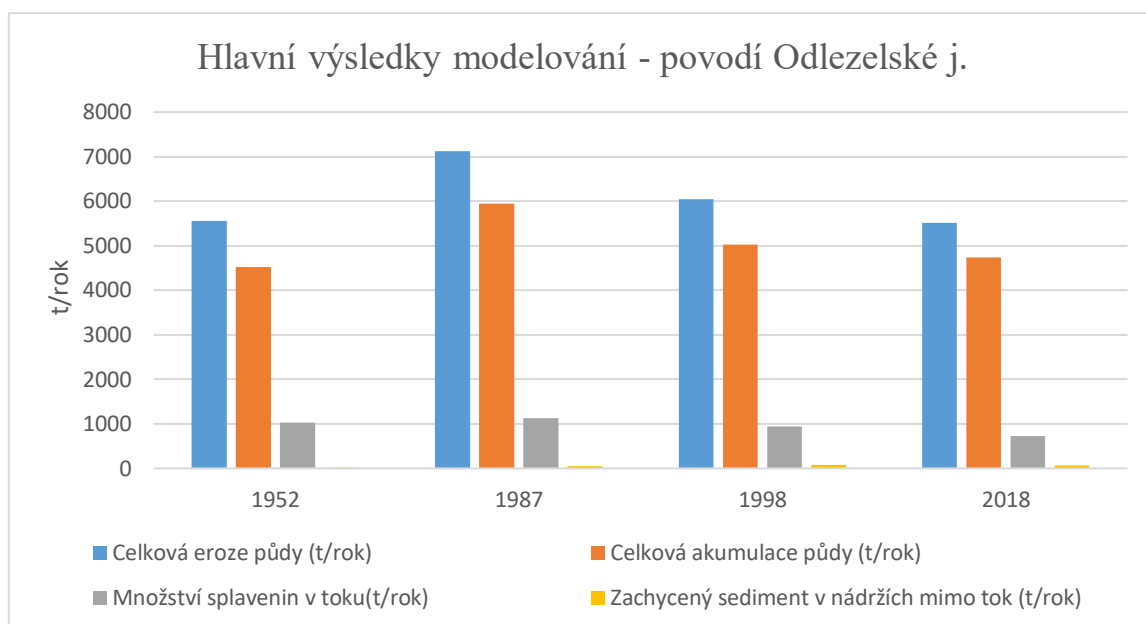
Odlezelské jezero	1952	1987	1998	2018
<b>Celková eroze půdy (t/rok)</b>	5555	7120	6045	5517
<b>Celková akumulace půdy (t/rok)</b>	4518	5940	5017	4733
<b>Množství vstupujících plavenin do toku (t/rok)</b>	1027	1132	944	721
<b>Zachycený sediment v nádržích mimo tok (t/rok)</b>	10	48	84	63

Tabulka 5.1: Hlavní výsledky modelu v absolutních hodnotách – celé povodí.



Obrázek 5.1: Intenzita eroze a akumulace v povodí Odlezelského jezera.





*Graf 5.1: Hlavní výsledky modelování – celé povodí.*

V tabulce 5.2 je zobrazené modelované množství plavenin, které vstupuje do Odlezelského jezera. K těmto hodnotám je nutné přistoupit poněkud kriticky, tato problematika je rozebrána v kapitole 4.8 Nastavení parametrů a validace výsledného modelu. Z výsledků je patrné, že větší množství plavenin do jezera přiteče z Mladotického potoka než z povodí Odlezelského potoka, nicméně v roce 2018 má 61 % tohoto materiálu původ v povodí Potvorovského potoka. Celkově nejmenší množství materiálu se do jezerní pánve dostává v roce 2018 naopak maximální depozice byla v roce 1987, to odpovídá závěrům uvedeným v literatuře Schulte a kol. (2007), který pojil zvýšení intenzity eroze s obdobím kolektivizace.

Množství vstupujících plavenin do Odlezelského jezera (t/rok)				
	1952	1987	1998	2018
<b>Odlezelský p.</b>	134	143	64	126
<b>Mladotický p.</b>	888	983	812	705
<b>Celkem</b>	1022	1127	876	832

*Tabulka 5.2: Modelovaný přínos plavenin do Odlezelského jezera.*

## 5.2 Výsledky modelování v povodí Odlezelského potoka

Intenzita erozních procesů v povodí Odlezelského potoka ani v jednom z modelovaných let nepřesáhla dlouhodobou tolerovanou průměrnou ztrátu půdy 4 t/ha/rok, která byla stanovena Janečkem a kol. (2012). Hodnoty ztráty v t/ha/rok jsou uvedeny v tabulce 5.3. Z té vyplývá, že tato lokalita není významně ohrožena vodní erozí

půdy. V roce 1987 se podle výsledků míra eroze pohybovala na 50 % dlouhodobé tolerované průměrné ztráty půdy.

<b>ODLEZELSKÝ POTOK</b>	<b>1952</b>	<b>1987</b>	<b>1998</b>	<b>2018</b>
<b>Celková ztráta půdy (t/ha/rok)</b>	1.56	2.09	0.73	1.83
<b>Celková depozice půdy (t/ha/rok)</b>	1.23	1.73	0.57	1.55

*Tabulka 5.3: Hlavní výsledky modelu – povodí Odlezelského potoka.*

Dle vymodelovaných dat byla maximální absolutní ztráta půdy v roce 1987, to znázorňuje tabulka 5.4. Eroze uvolnila 882 t/rok.

V 80. letech probíhala vrcholná fáze období kolektivizace, ve kterém hospodaření na velkých orných plochách zvyšovalo míru erodovaného materiálu. Tento trend je dokázán i v tomto sledovaném povodí roce 1987.

Nejnižší vymodelovaná ztráta půdy byla pro rok 1998, ve kterém byla absolutní míra erodovaného materiálu na 40 % oproti roku 2018. Tato hodnota je snížena vhodnou kombinací pěstovaných plodin s nízkým C faktorem.

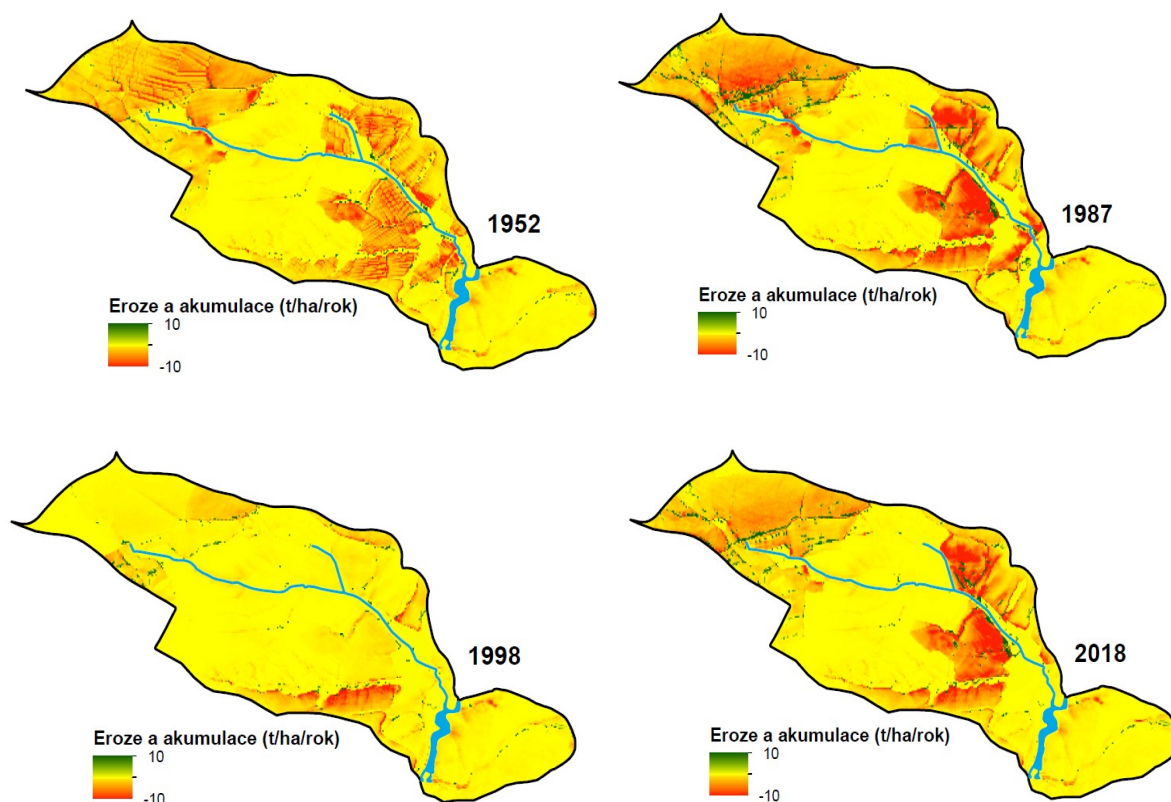
<b>ODLEZELSKÝ POTOK</b>	<b>1952</b>	<b>1987</b>	<b>1998</b>	<b>2018</b>
<b>Celková eroze půdy (t/rok)</b>	660	882	306	772
<b>Celková akumulace půdy (t/rok)</b>	520	729	240	640
<b>Množství plavenin vstupujících do toku (t/rok)</b>	136	148	65	130
<b>Zachycený sediment v nádržích (t/rok)</b>	4	5	1	2

*Tabulka 5.4: Hlavní výsledky v absolutních hodnotách pro Odlezelský p.*

Zajímavý pohled znázorňující modelovanou erozi a akumulaci materiálu v relativních hodnotách. Vysoký podíl materiálu se přímo akumuluje uvnitř jednotlivých parcel. V letech 2018 a 1987 sedimentovalo 83 % materiálu ještě než dosáhlo vodního toku či nádrže. Pro rok 1952 byla depozice 79 % a v roce 1998 akumulovalo 78 % z celkového uvolněného materiálu. Ačkoliv byly v roce 1952 před obdobím kolektivizace jednotlivé celky orných ploch velice rozdrobeny nemělo to v povodí Odlezelského potoka významný vliv na zvýšení podílu akumulovaného a sedimentovaného materiálu na hranicích těchto pozemků. Celková variabilita v rámci relativního zastoupení výsledků byla mezi jednotlivými lety minimální.

Stejnou shodu najdeme v relativním množství materiálu, který vstupuje do vodního toku. V letech 2018 a 1987 se do hydrografické sítě dostane 17 % veškerého erodovaného materiálu a ve zbylých dvou letech se hodnoty zhruba pohybují na 21 %. Množství materiálu, které zůstane ve vodních nádržích, není součástí hydrografické sítě, je tedy v porovnání celkovou akumulací zanedbatelné.

Celkové rozložení eroze a akumulace v t/ha/rok pro vybrané roky je zobrazeno na obrázku 5.2.



Obrázek 5.2: Celkové rozložení eroze a akumulace materiálu pro roky 1952, 1987, 1998 a 2018 v povodí Odlezelského potoka.

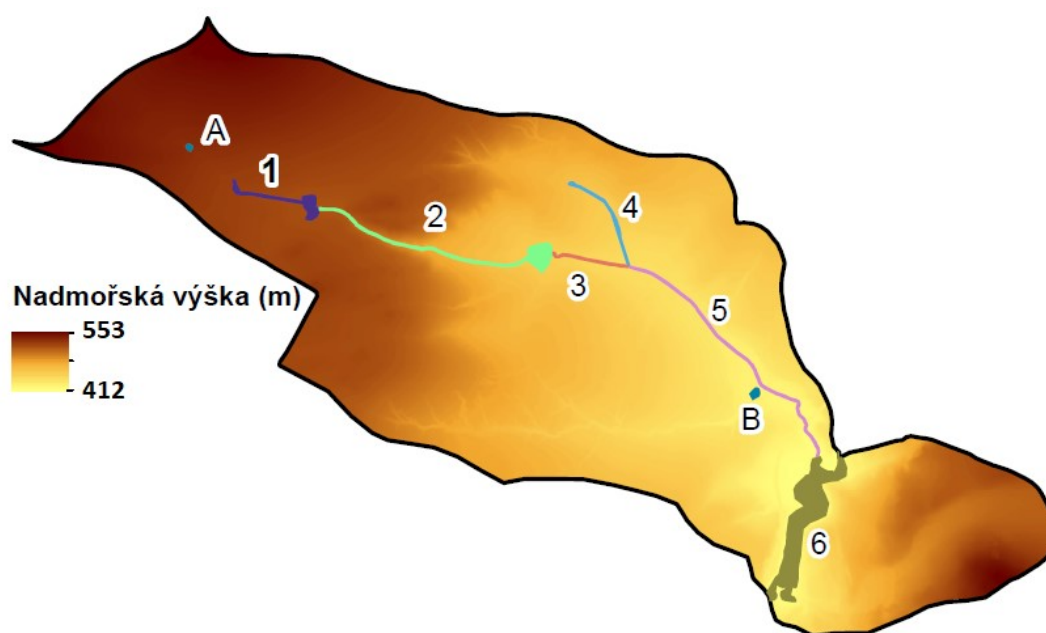
Z těchto výsledných dat jsou patrné erozně nejohroženější lokality v povodí, které náleží orným plochám ve středních oblastech povodí. Lesní celky odpovídají hodnotám pohybující se kolem nulové eroze a akumulace. Pokud se zaměříme na, byť zanedbatelnou erozi v zalesněných parcelách, zjistíme, že se nejvyšší míra eroze soustřeďuje do odtokových drah směřující po svahu níže.

Porovnání let 1998 a 2018 přináší zásadní informaci, zejména rozdíl intenzity eroze z důvodu vhodně pěstovaných plodin pro rok 1998, které měly větší ochranný faktor C oproti roku 2018, kdy se pěstovala více řepka olejka.

Oblasti akumulačních ploch jsou pro jednotlivé roky různě rozmístěné. Největší míra akumulace se vyskytuje na hranicích jednotlivých parcel. Můžeme tedy vidět, že depozice v letech 1987 a 2018 je soustředěná do plošně menších oblastí na hraničních oblastech velkých orných ploch. V roce 1952 se akumulace materiálu rovnoměrněji rozmisťuje na rozdrobených plošně malých parcelách orných ploch.

### 5.2.1 Množství plavenin v povodí Odlezelského potoka

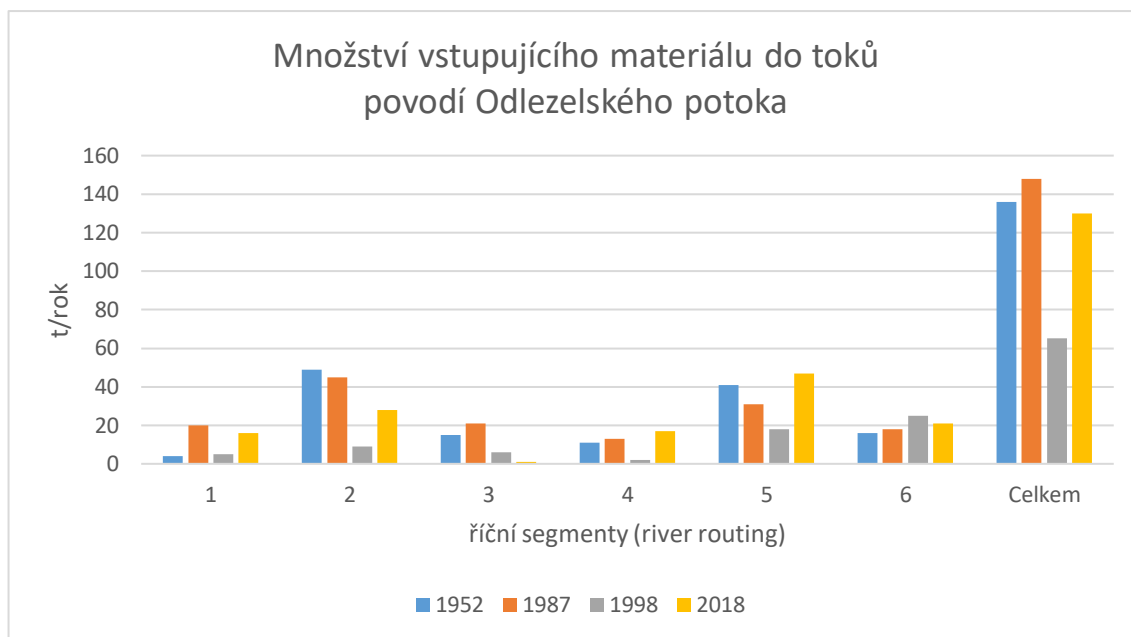
Celkové množství plavenin, jenž se dostane do hydrografické sítě nekalkuluje s depozicí materiálu ve vodních plochách. Klíč k hodnocení výsledků týkajících se jednotlivých segmentů je závislý na vstupních datech vrstvy river routing. Na obrázku 5.3 jsou znázorněny a očíslovány jednotlivé segmenty hydrografické sítě.



Obrázek 5.3: Segmenty říční sítě pro vstupní vrstvu river routing.

Graf 5.2 popisuje množství materiálu (t/rok), které se dostane v jednotlivých letech do říčních segmentů. Z modelových hodnot lze vyčíst, že v roce 1998 se do Odlezelského jezera dostane, bez přínosu plavenin z přítoků, 25 tun sedimentů. Naopak nejmenší přírůstek materiálu je z roku 1952, kdy se do jezera dostalo 16 t/rok. Hodnota vstupujícího materiálu do Odlezelského jezera v roce 1998 vykazuje nejvyšší hodnoty, ačkoliv v tomto roce bylo erodováno nejmenší množství materiálu.

Nejnižší množství vstupujícího materiálu mají segmenty 3 a 4. To je způsobeno nejen kratší délkou říčního úseku, ale také výskytem lesních ploch v jejich blízkém okolí.



*Graf 5.2: Množství vstupujících sedimentů do jednotlivých segmentů toku v povodí Odlezenského p.*

Říční úsek 1, který je v přímém kontaktu s ornými plochami, vykazuje, že v době před kolektivizací byl přínos materiálu o 80 % menší než v době vrcholného období kolektivizace v roce 1987. Nicméně množství plavenin z roku 2018 je téměř na stejné výši jako v letech 1987.

#### 5.2.2 Depozice ve vodních nádržích

V povodí Odlezenského potoka se nachází čtyři vodní nádrže. Dvě z nich označené v obrázku 5.3 písmeny A a B měly v rámci vstupních dat zadaný poměr zachycení materiálu 100 %. Dvěma následným nádržím vyskytující se na toku v úseku 1 a 2 byl vypočítán poměr zachycení podle metodiky Brune (1953). Vypočítané zachycení materiálu je stanoveno v tabulce 5.5. Z těchto výsledků lze usuzovat, že vodní nádrže mají minimální vliv na akumulaci materiálu a v rámci doporučení, bychom je mohli v této části povodí zanedbat.

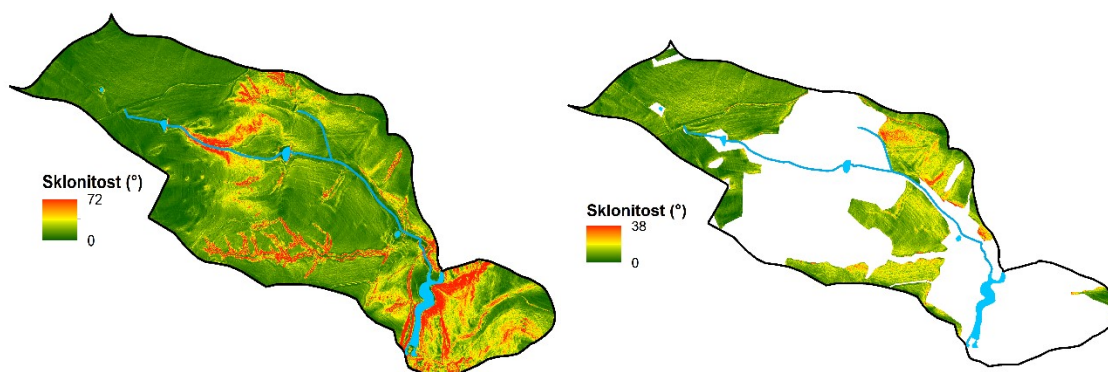
Vodní plocha	% zachycení	Zachycený materiál (t/rok)			
		1952	1987	1998	2018
<b>A</b>	100	2	2	1	1
<b>B</b>	100	2	3		1
<b>úsek 1</b>	15,8	0.63	3,16	0.79	2,5
<b>úsek 2</b>	2	1.5	1,4	0.3	0.92

Tabulka 5.5: Míra zachyceného materiálu v nádržích na toku i mimo něj.

### 5.2.3 Porovnání výsledků se vstupními daty

Obsah této kapitoly rozebírá provázanost výsledných hodnot se vstupními daty. Jak již bylo nastíněno v kapitole 4 Metody a datové zdroje, porovnání výsledků se bude týkat vrstev, které vznikly stejnou metodikou. Jedná se o vstupní faktor C, který lze porovnat u let 1998 a 2018.

Na obrázku 5.4 je znázorněna mapa sklonitosti v povodí Odlezenského potoka, ze které mode WaTEM/SEDEM vypočetl LS faktor. Informace o sklonu svahu poskytnou rozšíření pohledu o intenzitě eroze.

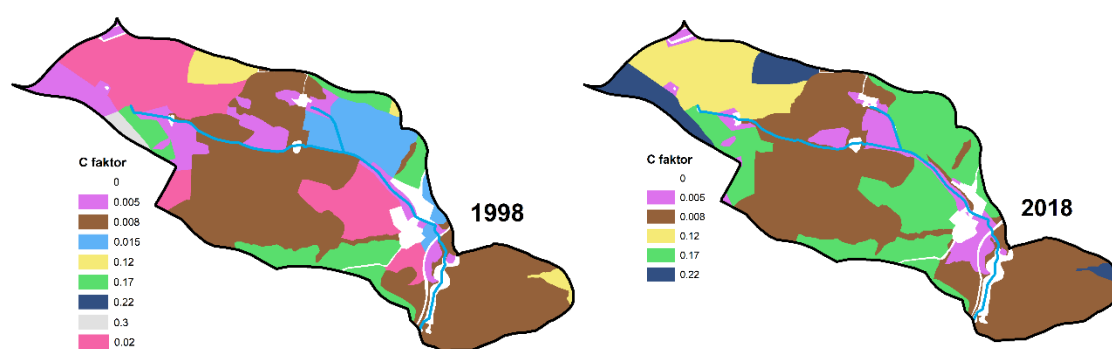


Obrázek 5.4: Mapa sklonitosti v povodí Odlezenského p. pro celé povodí a pro orné plochy.

Největší míry sklonitostí se vyskytují v oblasti Odlezenského jezera a střední části povodí, kudy se táhne stupeň Žihelské brázdy. V těchto hůře přístupných lokalitách je v drtivé většině zalesněná plocha, která intenzitu eroze výrazně zmenšuje. Přesto vlivem vysokého sklonu se do jezera ve zmiňovaných letech dostalo 16 – 25 t/ha/rok. Zajímavým zhodnocením je sklonitost, která je součástí pouze orných ploch, ta se pohybuje v rozmezí od 0 po 32°, to dokazuje, že výskyt největších svahů je mimo orné plochy.

V západní části povodí se sklon svahů podílí na intenzitě eroze mnohem v menší míře, než je tomu ve středních částech povodí. V letech 1987 a 2018 se v místech s největším sklonem svahů nachází největší eroze.

V přehledových obrázcích 5.5 jsou zobrazeny hodnoty C faktoru pro roky 1998 a 2018. V letech 1998 je klíčem k nízké intenzitě eroze pěstování vojtěšky, která má průměrný C faktor 0,02 a rozšíření ploch jetelových trav v blízkosti jediného levostranného přítoku. To je pravděpodobná příčina rozdílů těchto let. V roce 1998 se na tomto povodí nepěstovala řepka, oproti tomu v roce 2018 se pěstuje na třech parcelách. To je další důvod, který podpořil zvýšení intenzity eroze mezi těmito lety.



Obrázek 5.5: Změna rozložení C faktoru v letech 1998 a 2018.

Přestože změny využití ploch v průběhu let velice měnily strukturu krajiny, na prostorové rozložení eroze to významný vliv nemělo. Erozně ohrožené plochy jsou v jednotlivých letech na shodných místech napříč všemi roky. Zajímavé je, že struktura parcel významně ovlivnila zvýšení eroze mezi lety 1952 a 1987. Orné plochy zmenšily svou rozlohu celkově o 3,2 %, avšak míra eroze stoupla o 25 %. Zajímavé je, že počet orných parcel v roce 1952 bylo 317 a v rámci kolektivizace v roce 1987 jich zůstalo pouze 20. Od roku 1952 do roku 2018 postupně klesalo zastoupení zemědělských ploch ve prospěch travnatých ploch, nicméně na modelových výsledcích eroze to patrně není.

### 5.3 Výsledky modelování v povodí Potvorovského potoka

Vymodelované hodnoty ztráty půdy (t/ha/rok) jsou znázorněny v tabulce 5.6 a z těchto hodnot můžeme konstatovat stejný výsledek jako pro povodí Odlezelského potoka. Dlouhodobě tolerovaná ztráta 4 t/ha/rok ani v tomto dílčím povodí nebyla překonána, nicméně je hodnota ztráty půdy z roku 1987 stanovena na 3,32 t/ha/rok. I v tomto případě bude tato hodnota z roku 1987 ovlivněna hospodařením v rámci



kolektivizace zemědělství. Nejnižší hodnoty celkové ztráty půdy v tomto segmentu stanovil model pro rok 1952.

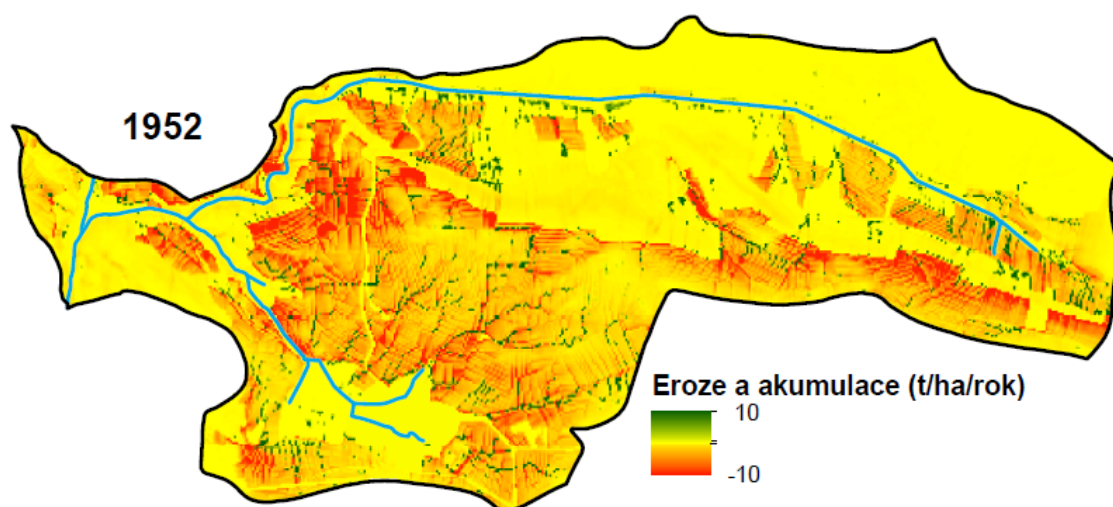
POTVOROVSKÝ POTOK	1952	1987	1998	2018
<b>Celková ztráta půdy (t/ha/rok)</b>	2.09	3.32	2.21	2.48
<b>Celková depozice půdy (t/ha/rok)</b>	1.76	2.78	1.89	2.10

Tabulka 5.6: Hlavní výsledky ztráty půdy na hektar pro povodí Potvorovského potoka.

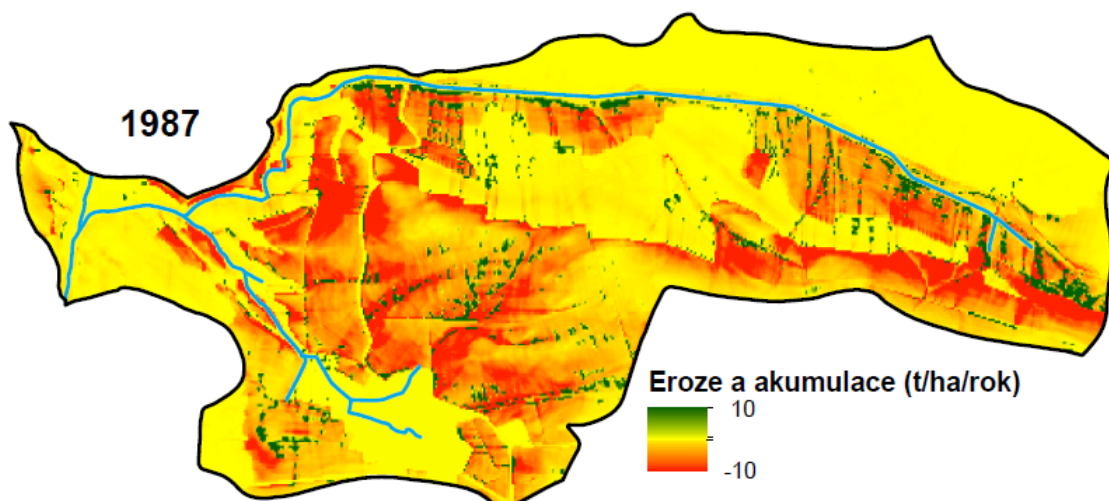
Podle tabulky 5.7 byla nejvyšší míra eroze v roce 1987 a oproti roku 1952 je míra eroze o 37 % vyšší. Výsledky z let 1998 a 2018 mají taktéž vyšší intenzitu eroze. Porovnáme-li rok 1952 s rokem 1998, došlo k nárůstu celkové intenzity eroze o 5,7 %, dále ho můžeme porovnat s rokem 2018, kdy taktéž došlo k nárůstu eroze již o 19 %. Podíl akumulovaného sedimentu z celkové míry eroze v povodí je oproti povodí Odlezelského potoka vyšší a vyrovnanější, pohybuje se v rozmezí 84,5 % akumulovaného materiálu z roku 1952 po 86 % materiálu v roce 1998. V této části povodí se nevyskytují žádné vodní nádrže, proto jsou výsledky zachycení sedimentu v nádržích nulové.

POTVOROVSKÝ POTOK	1952	1987	1998	2018
<b>Celková eroze půdy (t/rok)</b>	1586	2525	1682	1887
<b>Celková akumulace půdy (t/rok)</b>	1341	2112	1440	1598
<b>Množství plavenin vstupujících do toku (t/rok)</b>	245	413	242	289
<b>Zachycený sediment v nádržích (t/rok)</b>	0	0	0	0

Tabulka 5.7: Hlavní výsledky v absolutních hodnotách pro povodí Potvorovského p.



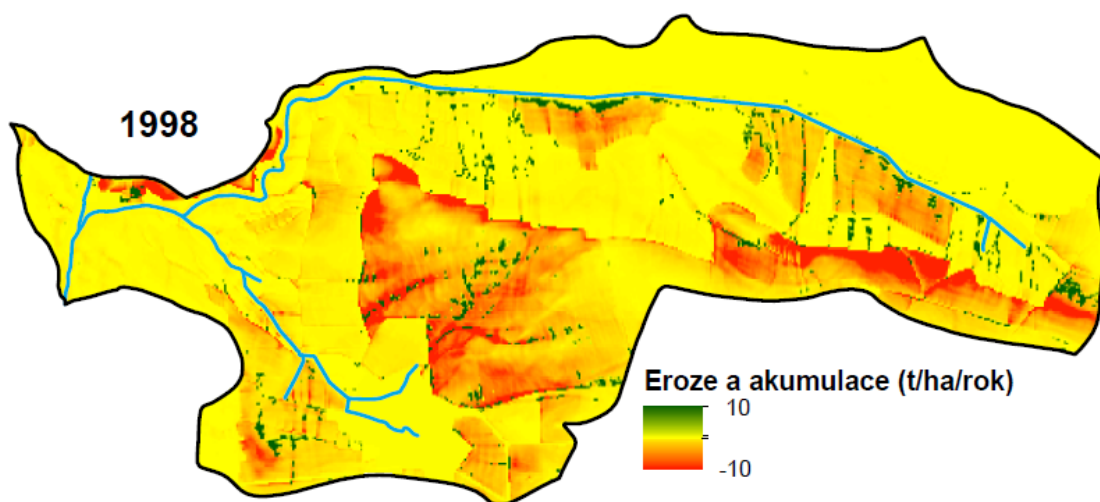


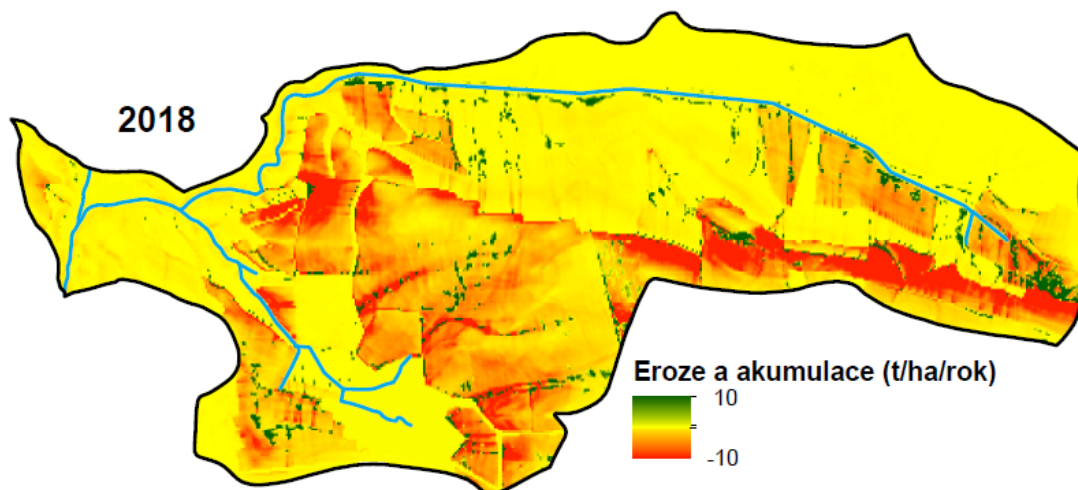


Obrázek 5.6: Celková míra intenzity eroze a akumulace pro rok 1952 a 1987 Potvorovský potok.

Obrázek 5.6 vykresluje největší změnu intenzity půdy a jejího rozložení v rámci povodí Potvorovského potoka. Zvýšení ztráty půdy o 37 % mezi těmito lety je závislé na LS faktoru. Čím delší svah a sklonitost parcely, tím je intenzita eroze větší. To je čitelné červenou škálou v roce 1987. Následuje transport relokuj materiál na větší vzdálenost, proto je akumulace v oblastech říční nivy v letech 1987 větší.

Největší akumulční oblast z roku 1987 se nachází ve východní části povodí a nachází se zde z důvodu poklesu sklonitosti reliéfu, při kterém množství materiálu větší než transportní kapacita. Akumulace materiálu pro rok 1952 je výrazně nižší zejména v oblasti říčních niv. Dále je pro tentýž rok patrné, že depozice je rovnoměrněji rozložena a soustředěna na hranice parcel jednotlivých orných ploch.





*Obrázek 5.7: Celková intenzita eroze a akumulace v povodí Potvorovského potoka pro roky 1998 a 2018.*

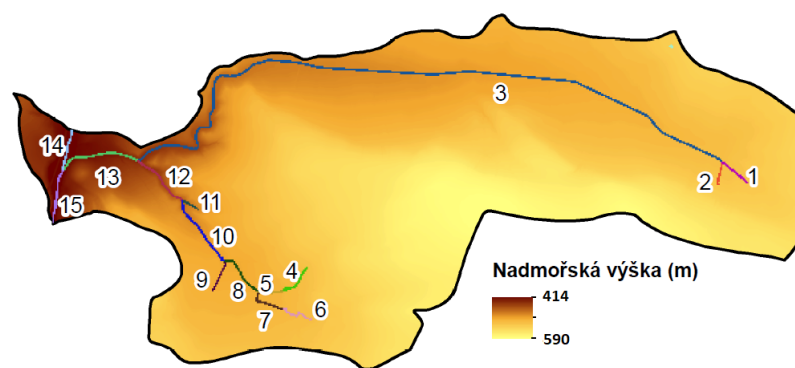
Rozdíly mezi rozložením intenzity eroze a akumulace v letech 1998 a 2018 podle obrázku 5.7 už nejsou tak výrazné. Oba ročníky více či méně stejně lokalizují nejvíce ohrožené oblasti vodní erozí, i přes odlišné pěstované plodiny.

Největší rozdíly v rámci těchto dvou let jsou v severozápadní části povodí, ve kterém dochází v roce 2018 k zatravnění některých parcel.

Oblast východní části disponuje jak největší mírou eroze, tak je zde patrná ve všech čtyřech ročnících největší akumulací oblast. Ve všech letech funkce říční nivy podporuje akumulaci, přesto se velké množství sedimentů dostává do toku.

### 5.3.1 Množství plavenin v povodí Potvorovského potoka

Množství plavenin je stanoveno podle rozdělení říční sítě, které je zobrazené na obrázku 5.8. Říční síť v tomto povodí je rozdělena na 15 segmentů, pro které budou popsány výsledky.



Obrázek 5.8: Segmenty říční sítě pro vstupní data river routing – Potvorovský p.

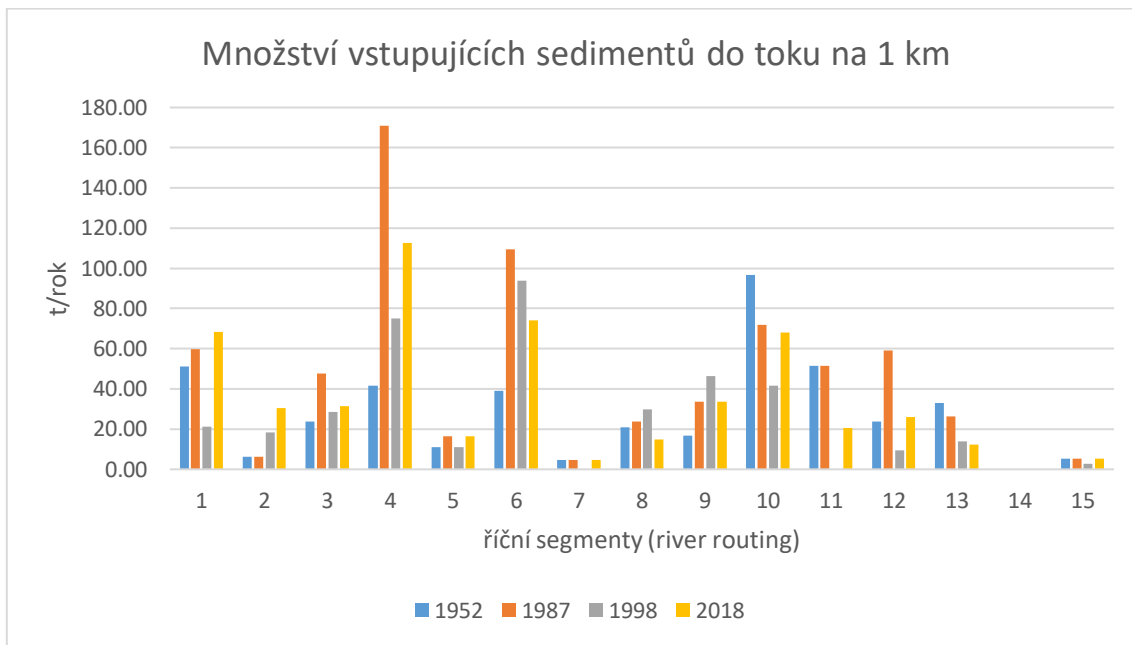
Z pohledu absolutních hodnot platí, že s délkou toku roste i množství sedimentů, které se do toku dostává. Z toho důvodu říční segment 3 dominuje v množství vstupujícího materiálu. To je znázorněno v tabulce 5.8. Do úseku toku 3 se v roce 1987 dostalo i přes velké množství akumulace materiálu v nivní oblasti 224 tun/rok. Ačkoliv nárůst eroze byl mezi lety 1952 a 1987 37 %, tak nárůst sedimentů ve tomto segmentu narostl o 102 %.

V úseku toku 10 je hodnota sedimentů vyšší o 25 % oproti roku 1987. To je způsobeno větší zastoupením orných ploch, které navazovaly přímo na vodní tok bez ochranného travnatého pásu či nivní vegetace. Stejně tak tomu bylo v případě úseku 13.

ID toku	Množství vstupujících sedimentů (t/rok)			
	1952	1987	1998	2018
1	12	14	5	16
2	1	1	3	5
3	111	224	134	147
4	10	41	18	27
5	2	3	2	3
6	10	28	24	19
7	1	1	0	1
8	7	8	10	5
9	4	8	11	8
10	51	38	22	36
11	5	5	0	2
12	10	25	4	11
13	19	15	8	7
14	0	0	0	0
15	2	2	1	2
Celkem	245	413	242	289

Tabulka 5.8: Míra vstupujících sedimentů do říčních úseků pro roky 1952, 1987, 1998 a 2018 – Potvorovský p.

Jelikož v absolutních hodnotách nelze porovnávat toky mezi sebou v následujícím grafu 5.3 je vstupní množství sedimentu vztaženo na 1 km toku. Na základě takto interpretovaných dat je dobře patrné, že největší míra vstupujících dat vztažená na jednotku délky je v pramenných oblastech říční sítě (úseky 1, 4 a 6). U osmi toků (3,4,5,6,7,11,12 a 15) je největší nárůst materiálu na 1 km v roce 1987.



Graf 5.3: Množství vstupujících sedimentů do úseků říční sítě vztažené na 1 km – Potvorovský potok.

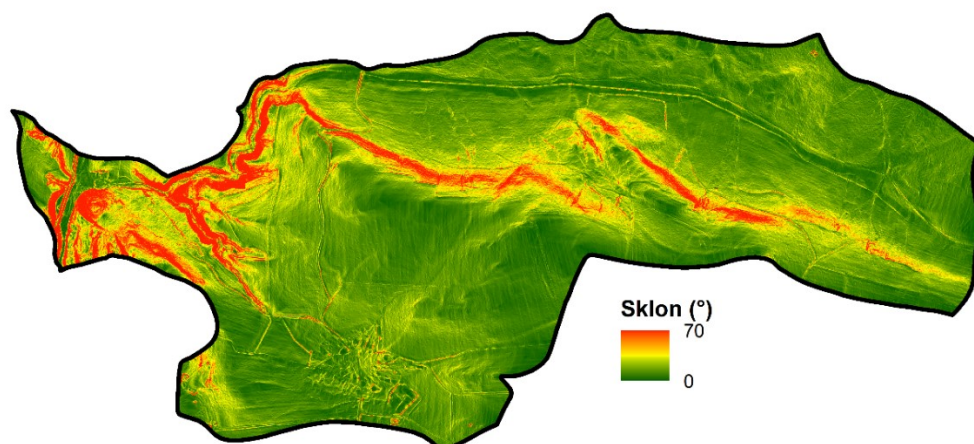
Velký nárůst, ať v absolutních hodnotách či hodnotách vztažený na 1 km, je mezi lety 1952 a 1987 na úsecích toku 4 a 6. To je způsobeno spojením parcel do jedné orné plochy v rámci kolektivizace, která je odvodněna do těchto úseků.

Na většině říčních segmentů byla druhá největší materiálová dotace vztažena na 1 km z roku 2018. Dokonce v pramenných úsecích 1 a 2 byly nejvyšší hodnoty z roku 2018.

### 5.3.2 Porovnání výsledků se vstupními daty

V povodí Potvorovského potoka je podle modelových výsledků největší intenzita eroze i depozice materiálu. Poměry sklonitosti jsou za celé povodí v rozmezí 0 - 70° a na orných plochách je sklon svahů do 30°. To je zobrazeno na obrázku 5.9. Většina erozních ploch odpovídá svažitosti v jednotlivých parcelách. V nejsvažitějších oblastech je plocha buďto zalesněna či zatravněna, to chrání povrch před erozí. V této příloze zaměřujeme pozornost na lokalizaci akumulčních ploch ve východní části povodí. Příčina akumulace,

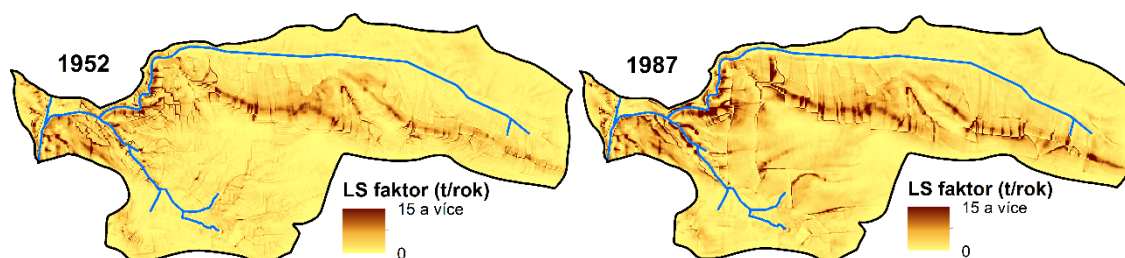
relativně velkého množství sedimentů v jedné lokalitě je způsobena ostrým stupněm, pod kterým se sklon přiblíží k hodnotě  $0^\circ$ . Přesto, že zde deponuje velké množství materiálu, tak nemalý poměr se dostane do pramenných částí hydrografické sítě. Sklonitosti blízké  $0^\circ$  jsou patrné v oblastech středního toku říčního úseku 3, to napomáhá společně s místy zatravněnou říční nivou k akumulaci sedimentů.

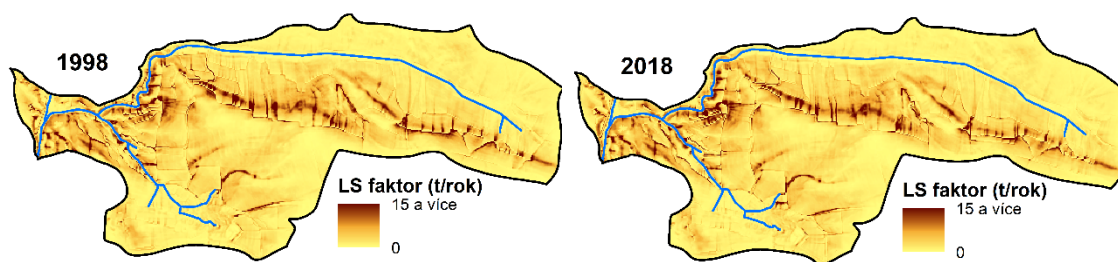


Obrázek 5.9: Mapa sklonitosti – povodí Potvorovský p.

Na obrázku 5.10 je zobrazena LS fakturu mezi jednotlivými lety. Tento vstupující faktor vznikl zejména z dat sklonitosti a mapy parcel a je dobrým indikátorem změny intenzity eroze vázané na rozparcelování povodí. Respektive zachytává změnu struktury krajiny v daných letech. Z modelových výsledků LS faktoru lze vyčíst, že největší hodnoty LS faktoru se vyskytují u roku 1987. Z tohoto závěru lze potvrdit, že scelování pozemků v období kolektivizace zvyšuje intenzitu eroze v tomto povodí.

Nejnižší hodnoty LS faktor nabývá pro rok 1952 z důvodu dobového způsobu hospodaření na vlastních maloplošných pozemkách. Ostatní roky 1998 a 2018 se výrazně neliší a neprobíhá zde zásadní změna, která by byla hlavní příčinou změn intenzity eroze.



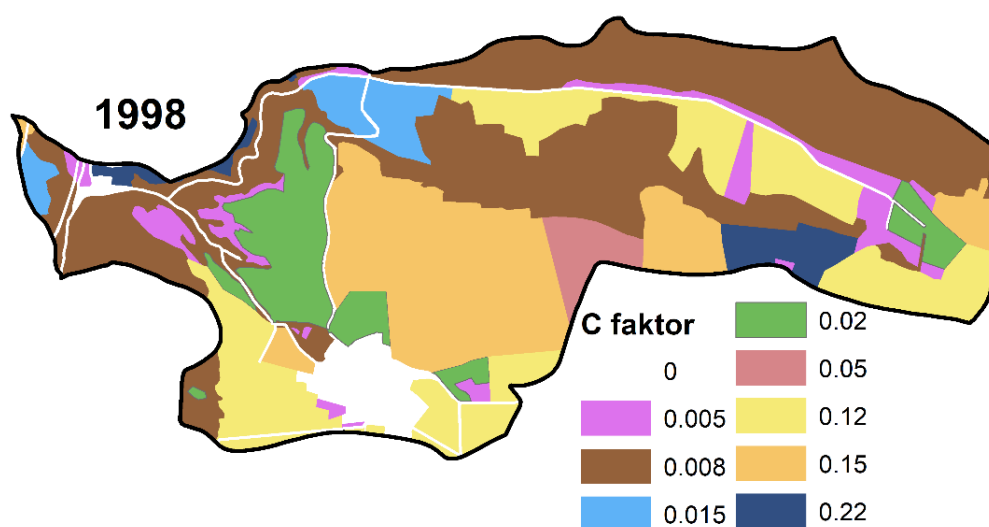


Obrázek 5.10: LS faktor pro jednotlivé scénáře – povodí Potvorovského potoka.

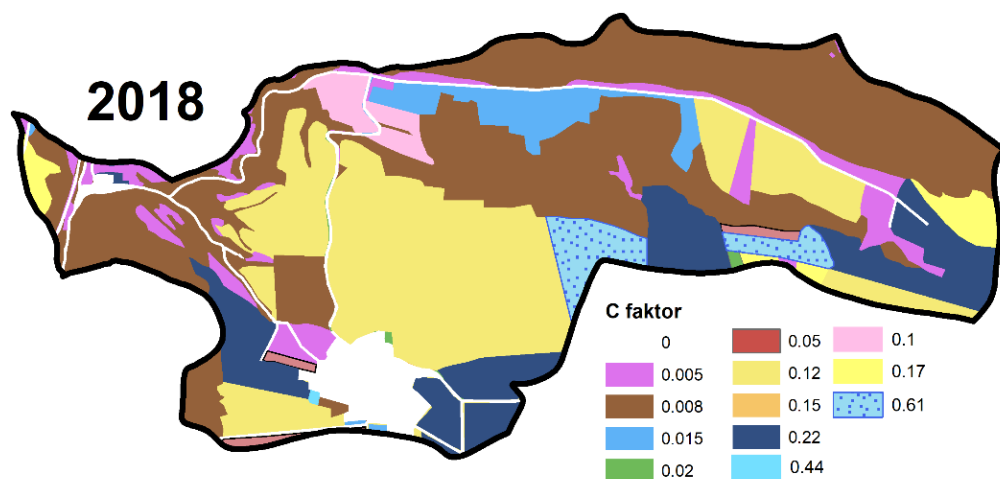
Na nárůstu intenzity vodní eroze mezi lety 1998 a 2018. měl podstatný vliv C faktor (obrázek 5.11). Jedna z klíčových změn se týká pramenné oblasti Bílovského potoka. V roce 2018 se zde pěstovala řepka olejka, na rozdíl od vyseté vojtěšce z roku 1998. Pokud tuto skutečnost porovnáme s množstvím vstupujících sedimentů do toku č. 1 v grafu 5.3, tak rozdíl změny plodiny sousedící s prameništěm toku způsobil nárůst vstupujících sedimentů do Bílovského potoka o 230 %.

Podstatnější změna, která celkově navýšila intenzitu eroze v roce 2018 je svázaná s pěstováním řepky olejky a kukuřice. Tyto plodiny byly v roce 2018 vysazeny do nejsvažitějších oblastí JV části povodí a navýšily plochu z 0,2 km<sup>2</sup> na 0,9 km<sup>2</sup>.

Mimo jiné nižší hodnotu intenzity eroze ovlivňovala pěstovaná vojtěška na rozlehlé ploše ve střední části povodí, ve které na SZ hranici parcel dosahuje sklon svahů 25 – 30°.







Obrázek 5.11: Změna faktoru C mezi lety 1998 a 2018.

#### 5.4 Výsledky modelování v povodí stanice Přehořov

Celková dlouhodobá tolerovaná ztráta půdy ani v tomto povodí není překonána, naopak modelované hodnoty ztráty půdy (t/ha/rok) jsou pro tuto oblast nejnižší ze všech tří sledovaných sub-povodí. To je pravděpodobně způsobeno velkým podílem lesních ploch. Hodnoty jsou znázorněny v tabulce 5.9 a z nich vyplývá, že v povodí přehořovské stanice je nejmenší míra eroze a akumulace vztažená na hektar, a to v roce 2018.

STANICE PŘEHOŘOV	1952	1987	1998	2018
<b>Celková ztráta půdy (t/ha/rok)</b>	0.97	1.09	1.19	0.84
<b>Celková depozice půdy (t/ha/rok)</b>	0.78	0.91	0.98	0.73

Tabulka 5.9: Hlavní výsledky intenzity eroze a akumulace na 1 ha pro povodí stanice Přehořov.

Celkové výsledky eroze a akumulace jsou znázorněny v tabulce 5.10, ze kterých lze stanovit, že nejsilnější eroze a zároveň i největší akumulace proběhla v letech 1998. Ačkoliv hodnoty z roku 1998 byly nejvyšší, množství materiálu, které se dostalo do říční sítě bylo o 4 % nižší než v letech 1952.

V roce 1952 byla akumulace ve vodních nádržích oproti ostatním letům nízká, nicméně tento výsledek je ovlivněn změnou ve využití ploch, kdy chyběly zavodňené plochy žihelského lomu.

Protože eroze v roce 1987 byla téměř o 10 % nižší než v roce 1998, tak poměr zachyceného materiálu v nádržích byl nižší o 48 %. Mezi těmito lety nebyl žádný rozdíl

ve změnách ploch vodních nádrží, na základě vstupních dat (zejména struktura land-use) se změnily odtokové a akumulační podmínky uvnitř povodí.

STANICE PŘEHOŘOV	1952	1987	1998	2018
<b>Celková eroze půdy (t/rok)</b>	3309	3713	4057	2858
<b>Celková akumulace půdy (t/rok)</b>	2657	3099	3337	2495
<b>Množství plavenin vstupujících sedimentů do toku (t/rok)</b>	646	571	637	302
<b>Zachycený sediment v nádržích (t/rok)</b>	6	43	83	61

*Tabulka 5.10: Celkové výsledky modelu v absolutních hodnotách pro rok 1952, 1987, 1998 a 2018 – povodí stanice Přehořov.*

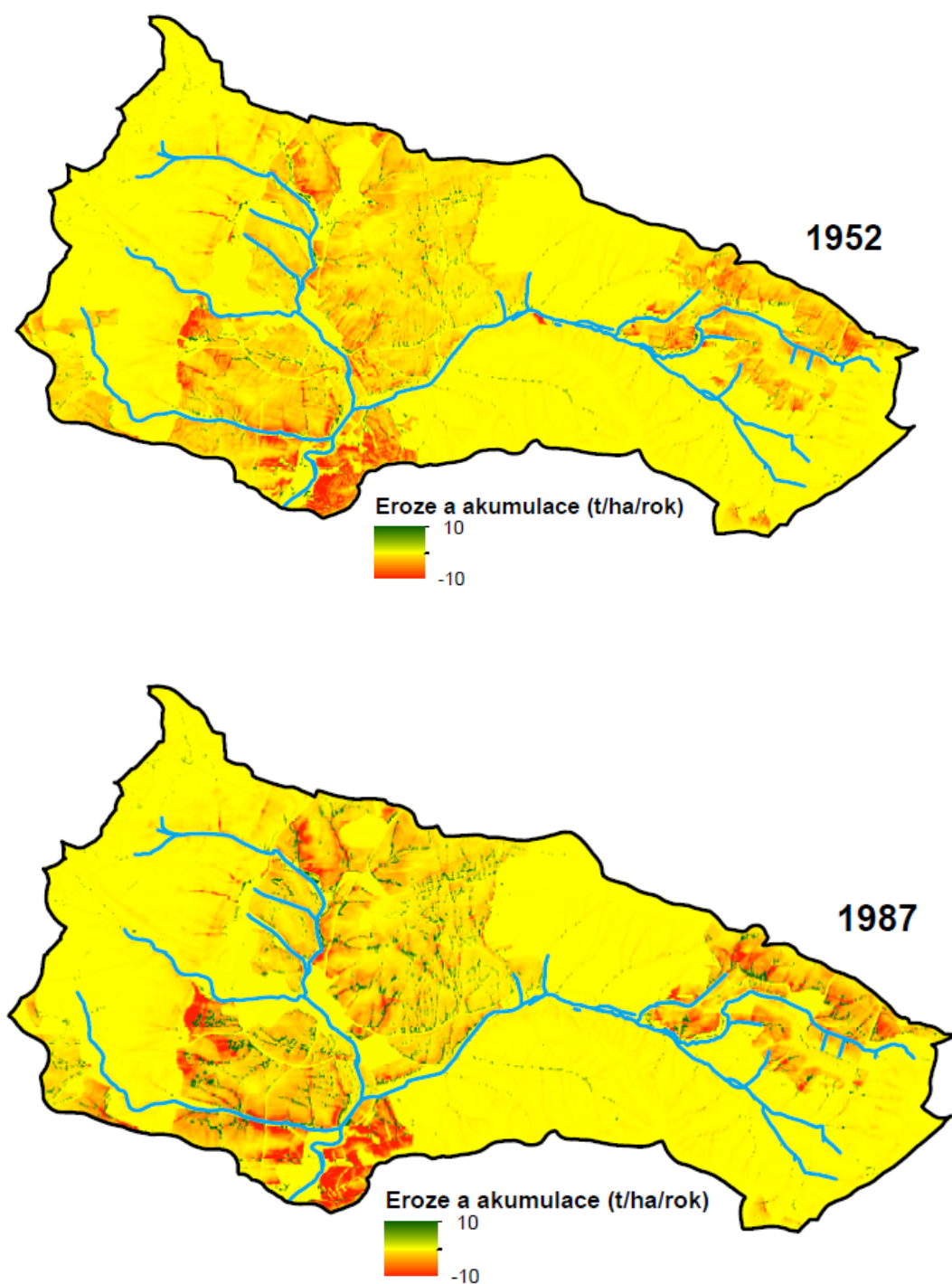
Zajímavý pohled přináší podíl akumulovaného materiálu k celkové erozi před kontaktem s hydrografickou sítí. Hodnoty jsou v porovnání ostatními povodími nejvíce rozptýlené. Podíl 80 % byl nejnižší v roce 1952, naopak v roce 2018 se akumuloval největší podíl materiálu a to 87,3 %, to ovlivnilo množství plavenin toku v daných letech.

Na obrázku 5.12 jsou zobrazeny vymodelované výsledky eroze a akumulace v povodí přehořovské stanice pro roky 1952 a 1987. Výstupy z obou let, jasně lokalizují místa s vyšší ztrátou půdy. Tato lokalita je v jižní části povodí, v blízkosti závěrového profilu celého povodí. Tato riziková oblast je dlouhodobě problematická, jelikož se zde ve velké svažitosti vyskytují orné plochy.

Největší svažitost je po celé délce západní strany povodí, ale ochranný vliv lesa erozi významně snižuje.

Oba výstupy z těchto let mají velice podobný ráz. Změna struktury orných ploch vlivem kolektivizace, je přesto patrná zejména v míře akumulace. V roce 1952 jsou oblasti depozice více rozmělněny na hranicích parcel, proto mají zeleně znázorněné plochy drobnější charakter, než je tomu v roce 1987. Ve vrcholném stádiu kolektivizace je transportován materiál na delší vzdálenosti a akumulační místa jsou dotována větším množstvím materiálu.

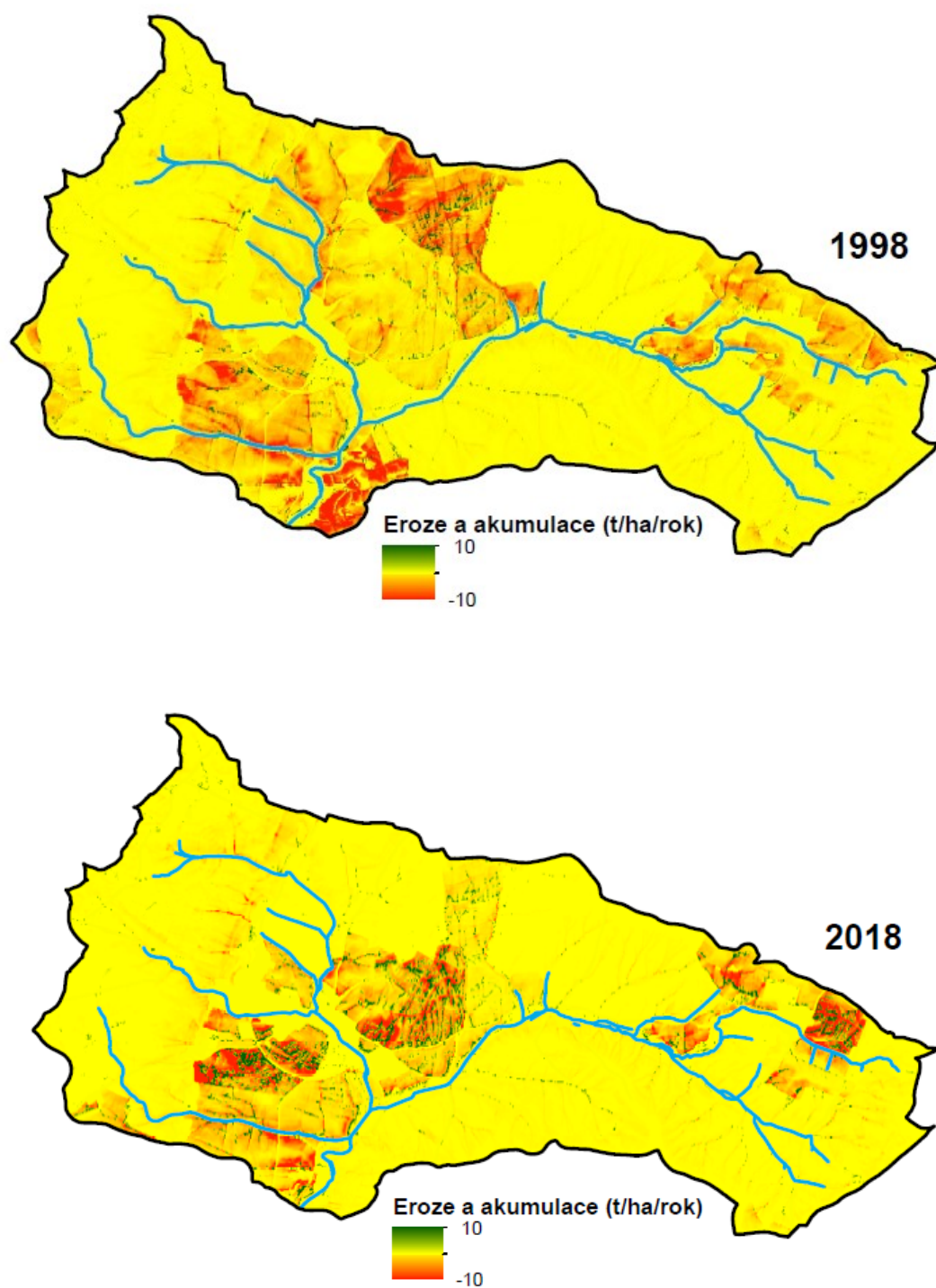




Obrázek 5.12: Celková intenzita eroze a akumulace pro roky 1952 a 1987 pro povodí stanice v Přehořově.

Na obrázku 5.13 jsou zobrazeny modelované výsledky z let 1998 a 2018, které popisují i aktuální stav eroze a akumulace materiálu. Zde je na první pohled patrná změna na východním svahu v blízkosti závěrového profilu povodí, kde dochází v roce 2018 k zásadnímu snížení eroze, která se podílí na množství plavenin v toku. Tato změna je

způsobena vytvořením protierozní ochrany zatravněním orných ploch. Modelované výsledky potvrzují účinnost tohoto opatření. V roce 1998 se na těchto plochách pěstovala řepka, která v prudkém svahu umocňovala intenzitu eroze a výsledky se tak významně podílely na celkové míře plavenin v toku pro rok 1998.



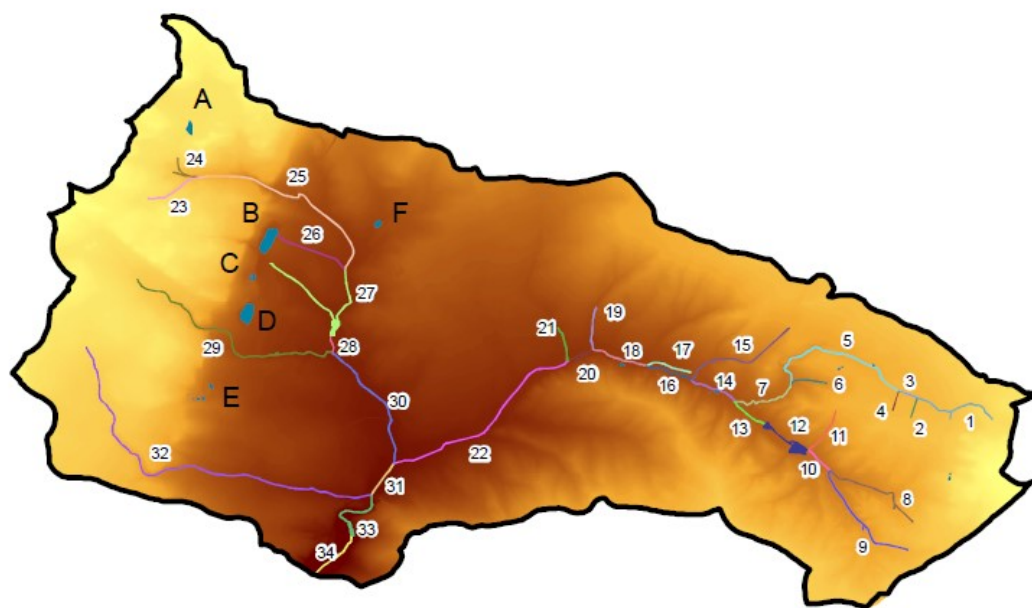
Obrázek 5.13: Celková intenzita eroze a akumulace pro roky 1998 a 2018 pro povodí stanice v Přehořově.

Rozdíly v rozložení intenzity eroze v těchto letech je způsobeno zejména plodinami, které jsou v daných letech pěstovány. V roce 2018 se častěji objevují plodiny jako kukuřice a řepka, které charakterizují riziková místa, nicméně svažitost těchto lokalit je malá a převážná většina materiálu se v blízkosti zdroje akumuluje. Proto oblasti s nejintenzivnější erozí jsou zároveň velkou akumulací oblastí.

V roce 2018 se v severní části povodí objevila dominantní změna. V posledních několika letech se zde vysadily na orné ploše rychle rostoucí dřeviny, které kombinací řádkového zalesnění a zatravnění, chrání před erozí, která zde byla v předchozích letech.

#### 5.4.1 Množství plavenin v povodí přehořovské stanice

Stejně jako v povodí Odlezelského potoka není součástí těchto výsledků zahrnuta akumulace v nádržích na toku. V povodí přehořovské stanice bylo vyčleněno 34 říčních segmentů, pro které jsou zobrazeny modelované výsledky. Přehled těchto částí říční sítě je zobrazen v obrázku 5.14.



Obrázek 5.14: Říční úseky pro vstupní vrstvu river routing pro povodí stanice v Přebořově.

Jelikož je počet úseků říční sítě veliký, v tabulce 5.11 je zobrazeno deset segmentů, kteří se podílejí na většině vstupujícího materiálu. Říční úsek 32 je nejzatíženější tok množstvím sedimentů, to je způsobeno nejen délkou toku, ale zejména průtokem skrze velké orné plochy. Tento úsek nemá nikterak významný ochranný pás říční nivy, zatravněných ploch, které by snížili množství vstupujícího materiálu.

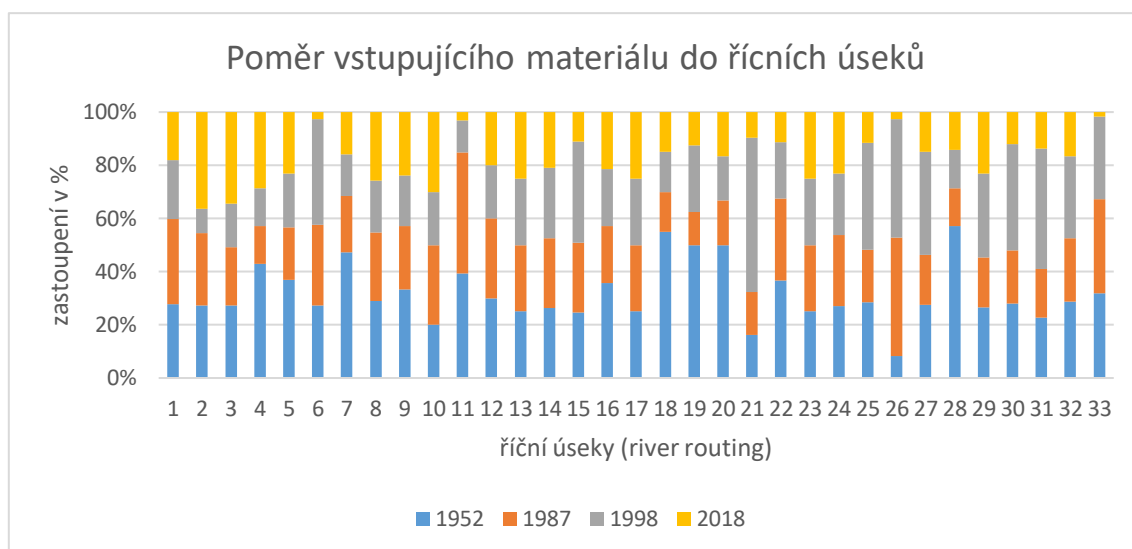
ID toku	Množství vstupujících sedimentů (t/rok)			
	1952	1987	1998	2018
1	20	23	16	13
5	56	30	31	35
6	20	22	29	2
15	31	33	48	14
25	49	34	69	20
27	42	29	59	23
29	37	26	44	32
32	108	90	116	63
33	78	87	76	4
34	46	60	18	3

*Tabulka 5.11: Počet vstupujících sedimentů do říčních úseků pro roky 1952, 1987, 1998 a 2018 v povodí stanice Přehořov.*

Významný nárůst plavenin zaznamenávají úseky 33 a 34, to je z důvodu zmiňovaného využívání orných ploch ve velké svažitosti na levém břehu toku v letech 1952, 1987 a 1998. Vlivem zatravnění klesne množství plavenin pro tyto úseky mezi lety 1998 a 2018 ze 4 na 3 t/ha/rok.

Podle hodnot vyplývající z tabulky 5.11 se do říčních úseků dostává největší množství materiálu v oblastech orných ploch, skrze které říční síť protéká. Ve východní oblasti se jedná o úseky 1, 5, 6 a 15. Případně v oblasti okolo obce Žihle to jsou úseky 25, 27 a 29.

Zajímavý pohled na variabilitu vstupujících sedimentů do toku přináší graf 5.4, pomocí kterého lze hodnotit jednotlivé úseky ve vztahu s množstvím vstupujícího materiálu mezi sebou. Zajímavá data se týkají toků 18, 19, 20 a 28, do kterých v roce 1952 vstupovalo víc jak 50 % materiálu ze všech čtyř let. To citlivě reaguje na změnu krajiny v této lokalitě, protože v 50. letech zde byla menší míra zalesnění ve prospěch zatravněných a orných ploch.



Graf 5.4: Poměrové rozložení vstupních sedimentů pro jednotlivé úseky toku v povodí stanice Přehořov.

Úseky toků 11 a 6 měly v roce 2018 pouze 5% podíl ze čtyřletého přírůstku materiálu, to je zapříčiněno vznikem golfového hřiště v této lokalitě, které přineslo změny v rámci navýšení travnatých ploch.

#### 5.4.2 Depozice ve vodních nádržích

Poměry zachycení v jednotlivých nádržích na říční síti i mimo ni je pro jednotlivé roky zobrazené v tabulce 5.12. Mezi nádrže ležící mimo říční síť s největší depozicí patří A – D, které leží v areálu bývalého kamenolomu. Materiál, jenž ústí do těchto vodních ploch pochází ze zalesněného svahu v západní části povodí. Přesto, že vodní nádrže jsou obklopeny lesem, mají velký roční přírůstek sedimentů.

Vodní plocha	Zachycení (%)	Zachycený materiál (t/rok)			
		1952	1987	1998	2018
<b>A</b>	100	-	8	17	15
<b>B</b>	100	-	-	31	20
<b>C</b>	100	-	12	16	5
<b>D</b>	100	-	12	5	16
<b>E</b>	100	3	7	10	1
<b>F</b>	100	2	3	3	3
<b>G (zbylé plochy)</b>	100	1	1	1	1
<b>úsek 12</b>	23.4	14.02	14.02	7.58	7.96
<b>úsek 27</b>	36	37.44	32.04	55.08	19.08
<b>úsek 33</b>	18.7	95.46	80.61	95.12	47.13

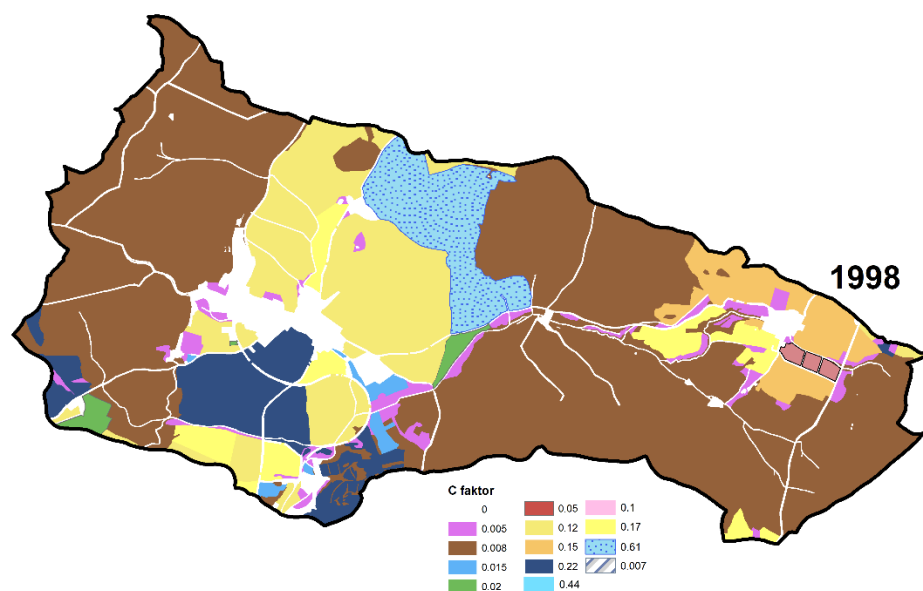
Tabulka 5.12: Míra zachycení materiálu v nádržích v povodí stanice Přehořov.

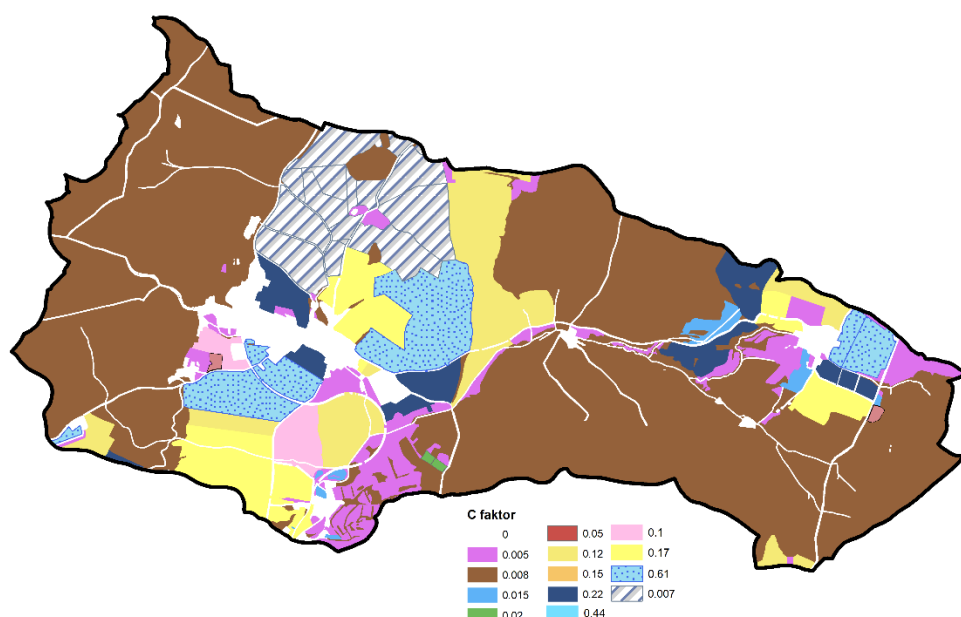
Akumulační nádrže na tocích, mají vypočítanou mnohem větší míru zachycení. Jedná se o desítky tun materiálu ročně. I když poměry nejsou vysoké, absolutní hodnoty zachyceného materiálu se zdají být nadhodnocené. Toto téma je podrobněji rozebráno v rámci kapitoly 4.8 Nastavení parametrů a validace výsledků modelu.

#### 5.4.3 Porovnání výsledků se vstupními daty

Rozdílů a změn mezi jednotlivými scénáři bylo pro sub-povodí přehořovské stanice mnoho. Hlavní změny v rámci C faktoru jsou spojeny se změnou využití krajiny popsané v kapitole 3.5 Využití ploch (land-use). Změna se pochopitelně promítla do hodnot C faktoru, a to zejména u velkoplošného vysazení rychle rostoucích dřevin v severní části povodí, zatravněných oblastí golfového hřiště v obci Podbořánky a u vytvořených protierozních opatření na západním svahu u obce Přehořov. Všechny zmíněné změny přispěly ke snížení intenzity eroze mezi lety 1998 a 2018.

K místům, kde mezi lety 1998 a 2018 došlo ke zvýšení eroze můžeme přiřadit SV oblast (obrázek 5.15), které leží na prudších svazích a v kombinaci se změnou plodiny triticales na širokořádkové plodiny došlo k navýšení odnosu materiálu. Na zvýšený podíl materiálu vstupujících do toku se tato změna plodiny téměř neprojevila, protože s rostoucí erozí se navýšila i akumulace.





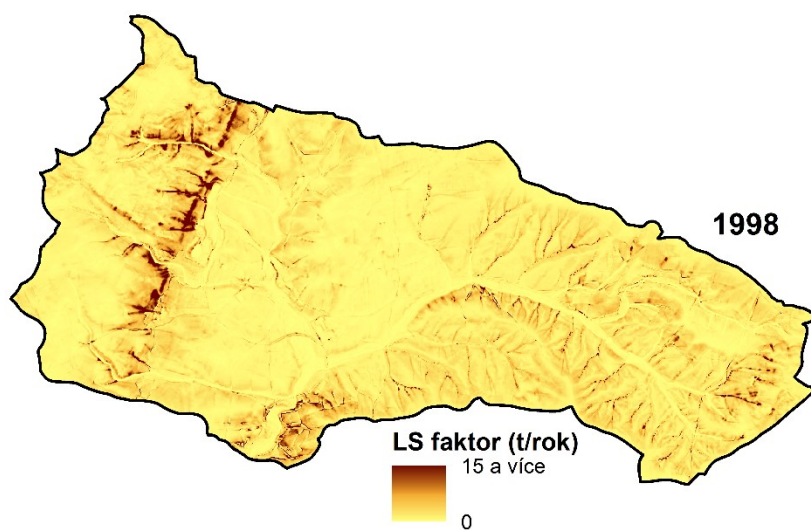
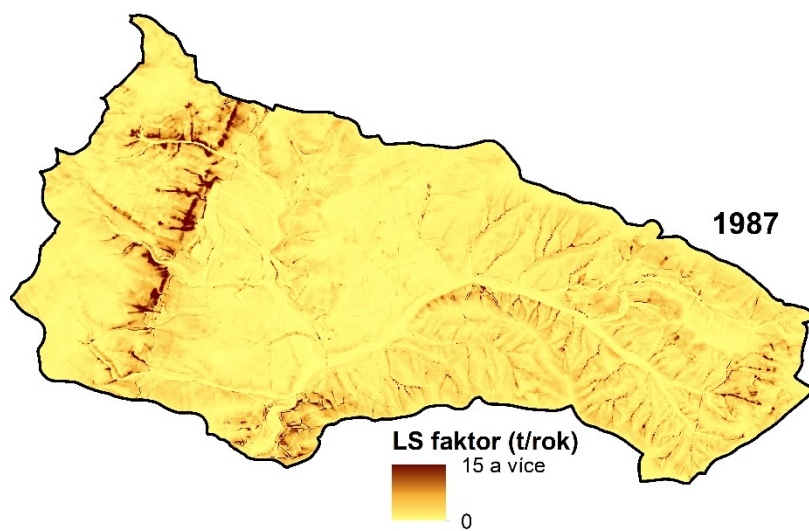
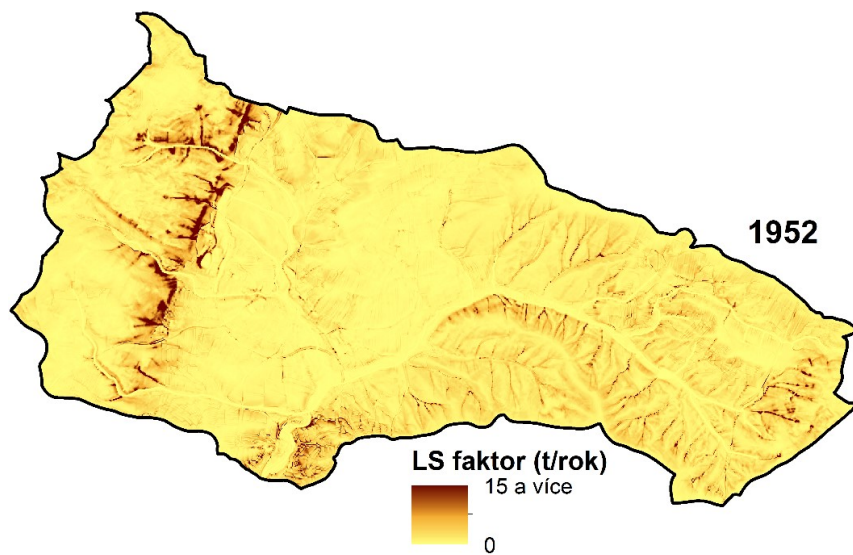
Obrázek 5.15: Hodnoty C faktoru pro rok 1998 a 2018.

Obrázek 5.16 ukazuje hodnoty LS faktoru pro jednotlivé roky. Stejně jako je to v případě povodí Potvorovského potoka, tento vstupní parametr nemá dominantní vliv na změny v intenzitě eroze. Naopak v oblasti konkávních svahů Žihelské brázdy vykazuje LS faktor vysoké hodnoty z důvodu velké svažitosti a velikosti lesních celků. Modelovaná intenzita eroze však nebere v potaz vysoké hodnoty LS faktoru v této lokalitě. Z toho lze usoudit, že oblasti s vysokým LS faktorem se příliš nepodílí na erozi, pokud jsou zalesněné.

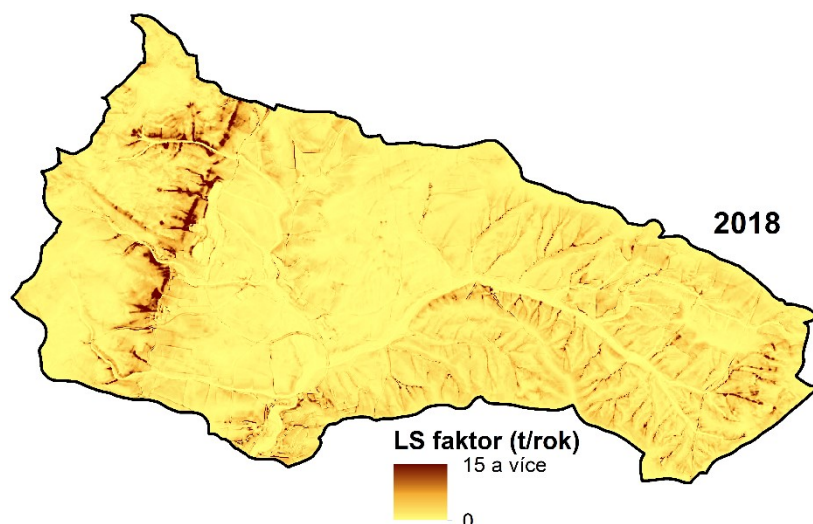
V zalesněných plochách se hodnoty LS faktoru soustřeďují do odtokových drah a poukazují na způsob transportu materiálu v lesních celcích. Přesto ochranný vliv lesní vegetace sníží intenzitu eroze na minimum.

Očekávaný vliv scelování pozemků v rámci kolektivizace není z LS faktoru příliš patrný, jelikož se orné plochy v povodí přehořovské stanice nevyskytují na svažitém terénu. Z toho lze usuzovat, že v případě tohoto sub-povodí je klíčovým vstupujícím faktorem faktor C.









Obrázek 5.16: Hodnoty LS faktoru pro jednotlivé scénáře.

## 5.5 Sledování erozních procesů v povodí

V průběhu tvorby bakalářské a diplomové práce byly průběžně sledovány projevy srážkoodtokových událostí. Byla nalezena spousta maloplošných lokalit, které jevíly známky přítomné eroze či akumulace. Je nutné podotknout, že celá oblast není výrazně ohrožena erozí, proto erozní tvary nenabývají velkých rozměrů.

7. května 2016 byl objeven na zlomové zóně Žihelské brázdy v lokalitě bývalé těžební oblasti malý sesuv (obrázek 5.17). Uvolněný materiál z tohoto svahového stupně se transportuje po svahu do zatopených lomů. V této lokalitě je mnoho míst, kde dochází k intenzivní erozi půdy, často se váží na terénní stupně, které pochází z těžební činnosti.



Obrázek 5.17: Erozní tvary u žihelského lomu (Zdroj: vlastní foto).

Na zemědělských plochách převažovala plošná eroze, tu zobrazují snímky 5.18. Na obou snímcích jsou řepková pole, protože u těchto plodin byly erozní události

nejčitelnější. V případě snímku vlevo se jedná o plošný odnos jemnozrnného materiálu i se zasetou plodinou. U takovýchto událostí se relokací jemnozrnného materiálu zvyšuje skeletovitost půd. Snímek vpravo zobrazuje místo akumulace v okrajových částech orné plochy. Akumulovaný materiál v tomto případě po vysušení rozpraskal.



*Obrázek 5.18: Erozní a akumulační tvary u řepkových polí (Zdroj: vlastní foto, 2017).*

Při průběžném sledování způsobu hospodaření a zacházení s krajinou jsem si všiml lokálních nedostatků, které zvyšují intenzitu eroze a větší množství plavenin v tocích. Jedno z podstatných zjištění znázorňuje obrázek 5.19. Absence travních pásů v okolí vodních toků, které by snižovaly množství materiálu v toku. Takovýchto lokalit, kde vodní tok leží v bezprostřední blízkosti orných ploch, je v povodí mnoho. Zde místní zemědělci nešetrně odstraňují větší balvany, které jsou překážkou pro obdělávání plochy technikou. Tyto balvany následně umístily do říčního koryta Žihelského potoka.



*Obrázek 5.19: Špatné hospodaření v krajině u Žihelského potoka (Zdroj: vlastní foto 2019).*



V severní části povodí byly na 3 km<sup>2</sup> vysazené rychle rostoucí dřeviny (obrázek 5.20), tato několikaletá plodina výrazně změnila odtokové a infiltrační vlastnosti na velké ploše. Řádkování dřevin směřuje po vrstevnici a oblast nižšího vegetačního patra je ponechána volnému růstu travin. Tento způsob hospodaření je vhodný v erozně ohrožených lokalitách jak z pohledu ochrany před erozí, tak z pohledu zemědělce a výnosů z plodiny.



*Obrázek 5.20: Rychle rostoucí dřeviny v severní části povodí (Zdroj: vlastní foto 2018).*

## 6 Diskuze

V této práci byla představena metoda modelování eroze a transportu sedimentů pomocí modelu WaTEM/SEDEM, který se opírá o známé a ověřené skutečnosti dlouhodobých empirických postupů, jako je například jádro modelu rovnice RUSLE.

Všechny vstupní vrstvy mají v rámci empirických přístupů svoje limity. Rovnice RUSLE se tak místo aplikace na jednotky parcel aplikuje na velikost rastrového pixelu 10 m. Z toho vyplývá, že ačkoliv plocha sledovaného území je malého či velkého měřítka, podrobnost metod zůstává stejná. V návaznosti na podrobnost práce je nutné, aby se zvyšovaly požadavky na větší přesnost, protože rozlišení 10 m nedokáže efektně popsat procesy týkající se například říčních niv. Snaha zpřesnit výsledky modelování vyžaduje častější aplikaci modelu a následnou konfrontaci s naměřenými daty v terénu jako je množství plavenin či sedimentů ve vodních nádržích. To jsou jediné možné způsoby, jak rozumně verifikovat modelové výsledky.

Při objektivním zhodnocení podrobnosti dat ve spojení s komplexní složitostí modelování je i řádová přesnost vhodným výsledkem. Tato přesnost se s ubývajícím množstvím dat zejména pro rok 1952 zvyšuje. Chybovost narůstá zejména v rámci vstupní vrstvy C a DMT, který nezohledňuje morfologii mezí a strukturu parcel před obdobím kolektivizace. To zcela jistě výsledky z roku 1952 nadhodnocuje.

Podrobnost modelování, jak zde bylo nastíněno, generalizuje procesy probíhající v okolí říčních niv. Zde velikost pixelu 10 m nepostihne úzké (v jednotkách metrů) ochranné nivní pásy, často travnaté nebo zalesněné nivní vegetací. Říční nivy budou významně redukovat množství materiálu, který vstupuje do toku.

Další komplikací ve spojitosti s rozlišením je umělé rozšíření říčního koryta, které bylo v pramenných oblastech nutno zvětšit až o 500 %, aby model zachoval transport materiálu v toku. Obě skutečnosti budou nadhodnocovat výsledky množství plavenin v hydrografické síti.

Ačkoliv negativa modelu popsaná v literatuře jasně upozorňují na absenci eroze a sedimentace materiálu uvnitř říční sítě (Vysloužilová 2010, Krása 2004), v žádné publikaci není stanovena orientační velikost této chyby vztažená ke sklonu či průtoku toků. Z terénních šetření ve sledované oblasti probíhalo v roce 2018 nešetrné bagrování říčního koryta v obci Žihle. Podle výsledků měřicí stanice, která je lokalizovaná ve

vzdálenosti 3 km po toku, nevykazovala žádný nárůst míry plavenin. Pokud měření nebylo ničím ovlivněno, akumulace v toku v této části povodí hraje významnou roli.

Neúplné množství dat je častým nedostatkem správného modelování. V této práci se nepodařilo sehnat přesné oseední postupy od agrárních společností hospodařících na plochách v povodí Odlezelského jezera, proto bylo nutné použít data získaná z terénního šetření z konkrétních let 1998 a 2018. To přesněji odráží variabilitu mezi těmito lety, nicméně plodiny, které podle průměrných hodnot nedostatečně chrání parcelu před erozí budou nadhodnocovat výsledky v daném roce.

V rámci již probíhajících změn ve využití půdy v sub-povodí přehořovské stanice, proběhly dvě podstatné změny. První změna se nachází v blízkosti závěrového profilu povodí. V roce 1998 měla tato oblast jednu z největších intenzit eroze, jelikož se zde pěstovala řepka na prudkém svahu. V roce 2018 byla tato lokalita zatravněna. Druhá se projevila výstavbou golfového hřiště u obce Podbořánky. V obou případech šlo o velkoplošné zatravnění. Model efektivně reagoval na změnu využití plochy a snížil intenzitu na minimum. Pružně reagoval i v případě akumulací materiálu v ostatních částech povodí. Podobně efektivně model reagoval na změny ve využití ploch i v povodí Černíčí autorky Vysloužilové (2010).

Stejně problematické jsou nedostatečné informace o poměru zachycení v nádržích na říčním toku. Bez přesných informací o akumulaci v nádržích nemůžeme model konfrontovat a efektivně validovat se naměřenými plaveninami v závěrovém profilu, k tomuto stanovisku se dobral i autor Bauer (2018). Ke zjištění poměru zachycených sedimentů ve vodních plochách byla použita metoda autora Brune (1953). Je otázkou, jestli efektivně stanoví poměr zachycení i pro takto malé rybníční soustavy na toku. Výpočty stanovily nejvyšší procento zachycení 36 %, nicméně podle názoru hydrologů byly odhadované poměry okolo 75 %. To by významně snížilo množství plavenin v závěrovém profilu a výsledky by tak byly kvalitnější v porovnání s terénním měřením. Zde je prostor pro další výzkum a zkvalitnění modelování.

I když v rámci diskuze, jsou prezentovány skutečnosti, které kritickým přístupem ovlivňují validitu výsledků, tak velice cenným a nenahraditelným údajem je porovnání výsledků mezi jednotlivými lokalitami, a tím lokalizovat nejohroženější plochy před erozí v jednotlivých letech. Z toho vyplývá, že s výsledky je nutno nakládat s rozvahou a mít

při tom na paměti, že nekvalitní vstupy nám generují nepřesné výsledky, proto je příprava dat klíčová.

## 7 Závěr

V průběhu diplomové práce byly v teoretické části popsány klíčové informace týkající se znalostí eroze, příčin jejího dělení, rozšíření a škod, které způsobuje. V druhé polovině teoretické části byl vyhrazen prostor pro přístupy modelování eroze se zaměřením na charakteristiku modelu WaTEM/SEDEM a rovnici RUSLE. Dále děj přešel do praktické části věnující se fyzicko-geografické charakteristice území a jednotlivému vytvoření vstupních vrstev z dostupných dat s poznámkami autora, které jsou nápomocny pro zprovoznění modelu.

Samotné zpracování modelu se věnovalo povodí Odlezelského jezera, které bylo rozděleno na 3 sub-povodí, pro které probíhalo modelování za cílem individuálně lokalizovat a kvantifikovat erozi v jednotlivých částech sledovaného území v letech 1952, 1987, 1998 a 2018. Tyto výsledky pro jednotlivé části jsou patrné ve výsledcích práce v kapitole 5 Výsledky. Jeden z hlavních výsledků za celé území značí, že největší intenzita eroze probíhala v období vrcholu kolektivizace v roce 1987. V tomto roce byla míra eroze 7120 t/rok. V roce 2018 a 1952 byla intenzita eroze srovnatelná a zhruba o 22,5 % nižší než v období kolektivizace. Nicméně v roce 2018 už výpočet ovlivnilo velkoplošné zatravnění rizikových svahů a velkoplošná výsadba rychle rostoucích dřevin, to lze považovat za implementaci prvků protierozní ochrany.

Místa s vysokou mírou odneseného materiálu ve všech letech se ve většině případů soustředila do orných ploch s vyšší sklonitostí. Pro rok 1987 byly hodnoty umocněny velkou plochou parcel a C faktorem. Největší intenzita eroze v sub-povodí je v oblasti Potvorovského potoka, ve kterém intenzita dosáhla v roce 1987 na 3,32 t/ha/rok.

Cíle vytyčené v úvodní kapitole 1 Úvod a cíl práce, se podařilo naplnit. Hodnocení vstupujícího materiálu do říčních segmentů bylo dokonce nad rámec cílů této práce.

Podle výstupů z modelování i podle průběžného terénního sledování lokality nepatří povodí Odlezelského jezera k erozně ohroženým povodím či místům, kde se objevují extrémní ztráty nebo akumulace materiálu. Prostor pro zlepšení protierozní ochrany a s tím spojená retence vody v krajině zde bez pochyb je. Každopádně každá aplikace modelu v českém prostředí napomáhá ke zlepšování validace modelu a k dosažení lepších výsledků.

## 8 Seznam literatury a datových zdrojů

- ALATORRE, C., BEGUERÍA, S., GARCÍA-RUIZ, M. (2010): Regional scale modeling of hillslope sediment delivery: A case study in the Barasona Reservoir watershed (Spain) using WATEM/SEDEM. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), s. 109–123. Dostupné na: <https://www.semanticscholar.org/paper/Regional-scale-modeling-of-hillslope-sediment-A-in-Alatorre-Beguer%C3%ADa/3c6e78a53d6578a01ffdb6048ca81ecc5e033b5e>, přístup 5.5. 2019
- Atlas podnebí Česka. ČHMÚ a UP v Olomouci. Praha a Olomouc, 2007.
- BALATKA, B., KALVODA, J. (2006). Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografie Praha, Praha, 79 s.
- BAUER, M. (2018): Posuzování erozní ohroženosti vodních nádrží sedimentem s využitím modelu WaTEM/SEDEM. Disertační práce. ČVÚT, Praha, 120 s.
- BEČVÁŘ, M. (2003): Odhad transportu sedimentu do vodní nádrže Hostivař. ČVUT v Praze.
- BROWN, B. (1944): Discussion of Sedimentation in Reservoirs. In J. Witzig, ed. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 69. s. 1493–1500.
- BRUNE, M. (1953): Trap efficiency of reservoirs. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 34(3), s. 407–418.
- BUZEK, L. (1983): Eroze půdy. 257 s.
- BUZEK, L. (1995): Půdní fond a jeho ochrana. 138 s. ISBN 80-7042-728-0
- ČSÚ (2016): Statistická ročenka České republiky 2016. Praha, Český statistický úřad. Dostupné na: <https://www.czso.cz/documents/10180/33199363/32019816.pdf/a2dde9e4-2973-433e-a863-aa20b47ad784?version=1.5>, přístup 5. 5. 2019
- DESMET, J., GOVERS, G. (1996): A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5), s. 427–433.
- DOSTÁL, T. a kol. (2007): Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, erozních a transportních procesů v krajině, Závěrečná zpráva projektu COST 1P04OC634.001.



- DREWRY, J. J., NEWHAM, L. T. H., CROKE, B. F. W. (2009): Suspended sediment, nitrogen and phosphorus concentrations and exports during storm events to the Tuross estuary, Australia. *Journal of Environmental Management* 90 (2009), s. 879-887.
- EEA (2019): Nepublikovatelné materiály. Dostupné na: <https://www.eea.europa.eu>, přístup 19. 5. 2019
- HOLÝ, M. (199): *Eroze a životní prostředí*. Praha: ČVUT.
- HULEC, F. (2017): *Nová batymetrická mapa Odlezelského jezera*. Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 70 s.
- JAKUBÍKOVÁ, A. (2016): *Soubor prezentací k předmětu Simulační modely k ochraně a organizaci povodí*, FSv ČVUT. Dostupné na: <http://storm.fsv.cvut.cz/pro-studenty/predmety/?lang=cz>, přístup 12. 5. 2018
- JANEČEK, M. a kol. (2002): *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. ISV nakladatelství, Praha, 201 s.
- JANEČEK, M. (2005): *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. IVS nakladatelství.
- JANEČEK, M. (2007): *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Metodika. VÚMOP, Praha, 76 s.
- JANEČEK, M. a kol. (2012): *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Metodika FŽP ČZU, Praha, 113. s. Dostupné na: [http://fzp.czu.cz/vyzkum/metodiky/Metodika\\_Ochrana\\_zemedelske\\_pudy\\_pred\\_erozi.pdf](http://fzp.czu.cz/vyzkum/metodiky/Metodika_Ochrana_zemedelske_pudy_pred_erozi.pdf), přístup 10. 5. 2018
- JANSKÝ, B., SCHULTE, A., ČESÁK, J., RIOS ESCOBAR, V. (2010): The Mladotice Lake, western Czechia: The unique genesis and evolution of the lake basin. *Geografie*, 115, č. 3, s. 247–265. Dostupné na: [https://www.researchgate.net/publication/274703896\\_The\\_Mladotice\\_Lake\\_western\\_Czechia\\_The\\_unique\\_genesis\\_and\\_evolution\\_of\\_lake\\_basin](https://www.researchgate.net/publication/274703896_The_Mladotice_Lake_western_Czechia_The_unique_genesis_and_evolution_of_lake_basin), přístup 19. 12. 2018
- KADLEC, J. (2007): *Modelování erozních procesů v povodí Blšanky*. Diplomová práce, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PřF UK, Praha, 93 s.
- KIM, J. S., OH, S. Y., OH, K. Y. (2006): Nutrient runoff from a Korean rice paddy watershed during multiple storm events in the growing season. *Journal of Hydrology* (2006) 327, s. 128-139.

- KLIMENT, Z. (2003): Lineární eroze v povodí Manetínského potoka. Geomorfologický sborník 2, ZČU, Plzeň, 12 s.
- KLIMENT, Z., LANGHAMMER, J. (2005): Modelování erozního ohrožení ve velkých územních celcích. In: Geomorfologický sborník 4, PFJU, České Budějovice, s. 75 - 81.
- KLIMENT, Z., KADLEC, J., LANGHAMMER, J. (2008): Evaluation of suspended load changes using AnnAGNPS and SWAT semi-empirical erosion models. Catena 73 (2008) s. 286-299.
- KOFRONOVÁ, J. (2017): Vliv změn landcover na konektivitu fluvialních procesů v povodí. Diplomová práce. PřF UK, Praha, 90 s.
- KRÁSA, J. (2004): Hodnocení erozních procesů ve velkých povodí za podpory GIS. Disertační práce. KHKI FSv ČVUT, Praha, 186 s.
- KRÁSA, J. a kol. (2005): Reservoirs' siltation measurements and sediment transport assessment in the Czech Republic, the Vrchlice catchment study. Catena, 64(2-3), s. 348-362.
- KRÁSA, J., DOSTÁL, T., VRÁNA, K. (2008): Revidovaná podrobná mapaztráty půdy pro území ČR. Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství FSv ČVUT, Ostrava, 11 s. Dostupné na: [http://gis.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2008/sbornik/Lists/Papers/001.pdf](http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2008/sbornik/Lists/Papers/001.pdf), přístup: 12. 2. 2019
- KRÁSA, J. (2010): Empirické modely vodní eroze v ČR. Habilitační práce, FSv ČVUT, Praha, 160 s. Dostupné na: [http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/osobni%20stranky/Krasa%20Josef/habilitace\\_krasa\\_2010.pdf](http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/osobni%20stranky/Krasa%20Josef/habilitace_krasa_2010.pdf), přístup 5. 5. 2019
- KRÁSA, J., STŘEDOVÁ, H., DOSTÁL, T., NOVOTNÝ, I. (2013): Rainfall erosivity research on the territory of the Czech Republic. Research Institute for Amelioration and Soil Conservation, ČVUT, Praha, 18 s. Dostupné na: <http://www.cbks.cz/SbornikBrno14/Krasa.pdf>, přístup 10. 6. 2018
- KRÁSA, J. a kol. (2015): Modelling of Sediment and Phosphorus Loads in Reservoirs in the Czech Republic. In M. A. Fullen et al., ed. Advances in GeoEcology 44. s. 21-34.
- KUBÍK, L. (2009): Monitoring rybníčních a říčních sedimentů, průběžná zpráva 1995 - 2008. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Brno, 18 s.

- LAL, R. (2001): Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), s.519–539. Dostupný na: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.472>, přístup 11.9. 2017
- LANGHAMMER, J. (2002): Kvalita povrchových vod a jejich ochrana. PřF UK, 225 s. Dostupné na <http://web.natur.cuni.cz/~langhamr/>, přístup 10.11.2017
- NOTEBAERT, B. a kol. (2006): WaTEM/SEDEM Version 2006 Manual. KU, Leuven, 30 s.
- NOVOTNÝ, I. A kol. (2017): Příručka ochrany proti vodní erozi, Ministerstvo zemědělství. Dostupné na: [http://eagri.cz/public/web/file/293635/MZE\\_prirucka\\_ochrany\\_proti\\_erozi\\_zem\\_edske\\_pudy\\_2017.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/293635/MZE_prirucka_ochrany_proti_erozi_zem_edske_pudy_2017.pdf), přístup 5. 5. 2018
- PAGÁČ, P. (2016): Modelování erozních procesů v povodí Odlezelského jezera. Bakalářská práce. PřF UK, Praha, 50 s.
- PANDEY, A. a kol. (2016): Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. *Catena*, 147, s. 595–620.
- PLOCEK, J. (2006): Studie transportu sedimentu v povodí VN Hostivař: Aplikace modelu WaTEM/SEDEM. ČVUT v Praze, FSv.
- PROUZA, V. (2001): Odlezelské jezero. ČGS. Praha, dostupné na: <http://lokalita.geology.cz/1125>, přístup 15. 6. 2019
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. *Studia Geographica*, Brno.
- ROYSSCHAERT, G., POESEN, J., NOTEBAERT, B., VERSTRAETEN, G., GOVERS, G. (2008): Spatial and long-term variability of soil loss due to crop harvesting and the importance relative to water erosion: A case study from Belgium. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126 (2008) s. 217-228.
- SCHULTE, A., JANSKÝ, B., DAUT, G., ILMLER, R., VAN GELDERN, R. (2007): Sediment dynamics from the drainage area into lake Mladotice (western Czech Republic) in relation to flood events and under the influence of pre- to post-communist landscape changes. *IAHS* 317, s. 130 – 136.
- SKLENÁŘOVÁ, M. (2008): Eroze půdy v ČR. Diplomová práce, katedra geografie PřF UP, Olomouc, 84 s.
- SMITH, H. (2009): Eutrophication. In G. E. Likens, ed. *Encyclopedia of Inland Waters*. Academic Press, Oxford, s. 61–73.

- ŠARAPATKA, B., DLAPA, P., BEDRNA, Z. (2002): Kvalita a degradace půdy. Univerzita Palackého, Olomouc, 246 s.
- ŠÁLEK, J. a kol. (1989): Rybníky a účelové nádrže, Státní nakladatelství technické literatury.
- TIPPL, M. (1998): Zhodnocení erozního ohrožení a látkový odnos v povodněmi postižených území. Zpráva za etapu 5.2.3. DÚ 5.2.: Vliv stavu a využívání krajiny na povodňovou situaci. VÚMOP, 75 s.
- VAN OOST, K., GOVERS, G., DESMET, P. (2000): Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*, 15(6), s. 577–589. Dostupné na: <http://link.springer.com/10.1023/A:1008198215674>, přístup 15. 5. 2019
- VAN ROMPAEY, A., BAZZOFFI, P., JONES, R. J. A., MONTARELLA, L. (2005): Modelling sediment yields in Italian catchments. *Geomorphology* 65 (2005) s. 157-169.
- VAN ROMPAY, A., VERSTRAETEN, G., VAN OOST, K., GOVERS, G., POESEN, J. (2001): Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surface Processes and Landforms* 26 (11), s. 1221-1236.
- VERACHTERT, E. (2010), VAN DEN EECKHAUT, M., POESEN, J., DECKERS, J. (2010): Factors controlling the spatial distribution of soil piping erosion on loess-derived soils: A case study from Central-Belgium. *Geomorphology* (2010).
- VERSTRAETEN, G., POESEN, J. (2002): Using sediment deposits in small ponds to quantify sediment yield from small catchments: possibilities and limitations. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, s. 1425–1439. Dostupné na: [https://www.researchgate.net/publication/229527417\\_Using\\_sediment\\_deposits\\_in\\_small\\_ponds\\_to\\_quantify\\_sediment\\_yield\\_from\\_small\\_catchments\\_Possibilities\\_and\\_limitations](https://www.researchgate.net/publication/229527417_Using_sediment_deposits_in_small_ponds_to_quantify_sediment_yield_from_small_catchments_Possibilities_and_limitations), přístup 5. 5. 2019
- VERSTRAETEN, G. (2006): Regional scale modelling of hillslope sediment delivery with SRTM elevation data. *Geomorphology* 81 (2006), s. 128 – 140.
- VITÁSEK, F. (1958): Fysický zeměpis – díl II. Pevniny. 603 s.
- VÚMOP (2016): Nepublikovatelné materiály. Dostupné na: <http://geoportal.vumop.cz/>, přístup 29. 4. 2016

- VÚMOP (2017): Nepublikovatelné materiály. Dostupné na: <http://geoportal.vumop.cz/>, přístup 15. 12. 2017
- VÚMOP (2018): Nepublikovatelné materiály. Dostupné na: <http://geoportal.vumop.cz/>, přístup 2. 3. 2018
- VÚMOP (2019): Nepublikovatelné materiály. Dostupné na: <http://geoportal.vumop.cz/>, přístup 25. 6. 2019
- VYSLOUŽILOVÁ, B. (2010): Hodnocení erozních procesů s využitím modelů WATEM/SEDEM a USPED. Diplomová práce, katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha 138 s.
- DE VRIES, C. a kol. (2010): Resource use efficiency and environmental performance of nine major biofuel crops, processed by first-generation conversion techniques. *Biomass and Bioenergy*, 34, s. 588–601. Dostupné na: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953410000024>, přístup 15.4. 2019
- VYSLOUŽILOVÁ, B., KLIMENT, Z. (2012): Modelování erozních a sedimentačních procesů v malém povodí. In: *Geografie – Sborník ČGS 2012 (2)*/ 117, s. 170-191.
- WISCHMEIER, H., SMITH, D. (1978): Predicting rainfall erosion losses. *Agriculture handbook no. 537*, (537), s.285–291.
- ZACHAR, D. (1970): *Eroze půdy*. Vydavatelství Slovenské akademie věd. 528 s.
- ZHAO, G. a kol. (2015): Sediment yield estimation in a small watershed on the northern Loess Plateau, China. *Geomorphology*, 241, s.343–352. Dostupně na: [https://www.researchgate.net/publication/276486008\\_Sediment\\_yield\\_estimation\\_in\\_a\\_small\\_watershed\\_on\\_the\\_northern\\_Loess\\_Plateau\\_China](https://www.researchgate.net/publication/276486008_Sediment_yield_estimation_in_a_small_watershed_on_the_northern_Loess_Plateau_China), přístup 15.4. 2019

## 8.1 Ostatní zdroje

- Arc ČR 500 (2015): Arc ČR 500, verze 3.2. Digitální geografická databáze 1:500 000. ArcData Praha, s.r.o., Praha.
- Digitální mapa BPEJ 1:5000, výřez pro povodí Odlezelského jezera, VÚMOP, Praha 2009.
- Digitální model území DMR 5G, výřez pro povodí Odlezelského jezera, ČÚZK, Praha.

- Digitální ortofoto z roku 2018 (2018): výřez pro povodí Odlezenského jezera, ČÚZK, Praha.
- Digitální ortofoto z roku 1998 (2018): výřez pro povodí Odlezenského jezera, ČÚZK, Praha.
- Digitální ortofoto z let 1952 (2018): dostupná WMS služba pro Plzeňský kraj. Dostupná na: <http://geoportal.plzensky-kraj.cz/gs/vsechny-mapy/>, přístup 2. 11. 2018.
- Historické LMS z roku 1987 (2018): VGHMÚř Dobruška
- Databáze LPIS (2018): výřez pro povodí Odlezenského jezera, zpracoval Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Geologická mapa 1: 50 000: Dostupná na: [http://mapy.geology.cz/geocr\\_50/](http://mapy.geology.cz/geocr_50/), přístup 5. 6. 2017.
- Digitální báze vodohospodářských dat (2018): dostupné na: <http://www.dibavod.cz/>, přístup 3. 2. 2018.
- Základní mapa České republiky 1:10 000 (2018): WMS služba. ČÚZK, dostupná na: [http://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ZM10\\_PUB/WMSservice.aspx](http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx), přístup 16. 12. 2019

## 8.2 Použitý software

- ArcGIS 10.2.2
- MS Office 2016
- Model WaTEM/SEDEM
- IDRISI Selva 17.2.

## 8.3 Seznam obrázků

- Obrázek 2.1: Erozní odtok z orné plochy (plodina: kukuřice), dostupné online: <https://www.nase-voda.cz/financni-ztraty-vodni-eroze-dosahuji-temer-18-miliard-rocne/> (10. 5. 2018) .....12
- Obrázek 2.2: Příklad eutrofizace v CHKO Blanský les, dostupné online: <http://blanskyles.ochranaprirody.cz/cinnost-rp-jizni-cechy/ochrana-a-pece-o-vodni-ekosystemy/> (10. 5. 2019).....12
- Obrázek 2.3: Uživatelské rozhraní – přehled dialogových oken. ....26

• Obrázek 3.1: Přehledová mapa sledovaného území .....	29
• Obrázek 3.2: Geologická mapa podloží povodí Odlezelského jezera .....	31
• Obrázek 3.3: Sklonitost a nadmořská výška sledované lokality (ČÚZK, DIBAVOD) .....	32
• Obrázek 3.4: Znečištění vody v Odlezelském jezeře (Kofroňová 2019).....	36
• Obrázek 3.5: Půdní poměry v povodí Odlezelského jezera (ČGS 2016, Pagáč 2016) .....	37
• Obrázek 3.6: Hydrologické půdní skupiny v povodí (VÚMOP 2016, Pagáč 2016) .....	38
• Obrázek 3.7: Využití území pro jednotlivé scénáře v povodí Odlezelského potoka .....	41
• Obrázek 3.8: Využití půdy v jednotlivých letech pro povodí Potvorovského potoka .....	43
• Obrázek 3.9: Změna využití ploch v povodí stanice v Přehořově .....	45
• Obrázek 4.1: Segmenty říční sítě pro model WaTEM/SEDEM v povodí Potvorovského potoka .....	49
• Obrázek 4.2: Vstupní vrstva river routing s uzlovými body pro směřování toků .....	49
• Obrázek 4.3: Pěstované plodiny v povodí Odlezelského jezera .....	51
• Obrázek 4.4: Vstupní vrstva K faktoru pro celé povodí Odlezelského jezera ....	54
• Obrázek 5.1: Intenzita eroze a akumulace v povodí Odlezelského jezera .....	58
• Obrázek 5.2: Celkové rozložení eroze a akumulace materiálu pro roky 1952, 1987, 1998 a 2018 v povodí Odlezelského potoka .....	61
• Obrázek 5.3: Segmenty říční sítě pro vstupní vrstvu river routing .....	62
• Obrázek 5.4: Mapa sklonitosti v povodí Odlezelského p. pro celé povodí a pro orné plochy .....	64
• Obrázek 5.5: Změna rozložení C faktoru v letech 1998 a 2018 .....	65
• Obrázek 5.6: Celková míra intenzity eroze a akumulace pro rok 1952 a 1987 Potvorovský potok .....	67
• Obrázek 5.7: Celková intenzita eroze a akumulace v povodí Potvorovského potoka pro roky 1998 a 2018 .....	68
• Obrázek 5.8: Segmenty říční sítě pro vstupní data river routing – Potvorovský p. ....	69

• Obrázek 5.9: Mapa sklonitosti – povodí Potvorovský p. ....	71
• Obrázek 5.10: LS faktor pro jednotlivé scénáře – povodí Potvorovského potoka .....	72
• Obrázek 5.11: Změna faktoru C mezi lety 1998 a 2018 .....	73
• Obrázek 5.12: Celková intenzita eroze a akumulace pro roky 1952 a 1987 pro povodí stanice v Přehořově .....	75
• Obrázek 5.13: Celková intenzita eroze a akumulace pro roky 1998 a 2018 pro povodí stanice v Přehořově .....	76
• Obrázek 5.14: Říční úseky pro vstupní vrstvu river routing pro povodí stanice v Přehořově .....	77
• Obrázek 5.15: Hodnoty C faktoru pro rok 1998 a 2018 .....	81
• Obrázek 5.16: Hodnoty LS faktoru pro jednotlivé scénáře .....	83
• Obrázek 5.17: Erozní tvary u žihelského lomu (Zdroj: vlastní foto) .....	83
• Obrázek 5.18: Erozní a akumulární tvary u řepkových polí (Zdroj: vlastní foto, 2017) .....	84
• Obrázek 5.19: Špatné hospodaření v krajině u Žihelského potoka (Zdroj: vlastní foto 2019) .....	84
• Obrázek 5.20: Rychle rostoucí dřeviny v severní části povodí (Zdroj: vlastní foto 2018) .....	85

## 8.4 Seznam tabulek

• Tabulka 3.1: Taxonomie území podle geomorfologického systému Balatky a Kalvody (2006) .....	30
• Tabulka 3.2: Obecné klimatologické charakteristiky sledovaného území podle Quitta (1971) (Zdroj: Atlas podnebí 2007) .....	33
• Tabulka 3.3: Průměrné roční úhrny naměřené na stanici v Žihli .....	33
• Tabulka 3.4: Množství naměřených plavenin v Mladotickém povodí v letech 2012 – 2018 .....	34
• Tabulka 3.5: Počet parcel ve sledovaném území v jednotlivých letech.....	39
• Tabulka 4.1: Průměrné hodnoty C faktoru pro pěstované plodiny (Janeček a kol. 2012).....	51
• Tabulka 4.2: Průměrné hodnoty K faktoru pro HPJ (Janeček a kol. 2012).....	52



- Tabulka 4.3: Průměrné hodnoty K faktoru pro půdní typy a subtypy (Janeček a kol. 2012) .....53
- Tabulka 4.4: Doporučené parametry nastavení modelu (Krása a kol.2013).....55
- Tabulka 4.5: Parametry nastavení modelu (Vysloužilová 2010).....55
- Tabulka 4.6: Míra sedimentů (t/rok) vstupujících do Odlezelského jezera podle poměru zachycení sedimentů v sedmi nádržích v povodí .....56
- Tabulka 5.1: Hlavní výsledky modelu v absolutních hodnotách – celé povodí..58
- Tabulka 5.2: Modelovaný přínos plavenin do Odlezelského jezera .....59
- Tabulka 5.3: Hlavní výsledky modelu – povodí Odlezelského potoka .....60
- Tabulka 5.4: Hlavní výsledky v absolutních hodnotách pro Odlezelský p.....60
- Tabulka 5.5: Míra zachyceného materiálu v nádržích na toku i mimo něj.....64
- Tabulka 5.6: Hlavní výsledky ztráty půdy na hektar pro povodí Potvorovského potoka.....66
- Tabulka 5.7: Hlavní výsledky v absolutních hodnotách pro povodí Potvorovského p. ....66
- Tabulka 5.8: Míra vstupujících sedimentů do říčních úseků pro roky 1952, 1987, 1998 a 2018 – Potvorovský p. ....69
- Tabulka 5.9: Hlavní výsledky intenzity eroze a akumulace na 1 ha pro povodí stanice Přehořov .....73
- Tabulka 5.10: Celkové výsledky modelu v absolutních hodnotách pro rok 1952, 1987,1998 a 2018 – povodí stanice Přehořov .....74
- Tabulka 5.11: Počet vstupujících sedimentů do říčních úseků pro roky 1952, 1987, 1998 a 2018 v povodí stanice Přehořov .....78
- Tabulka 5.12: Míra zachycení materiálu v nádržích v povodí stanice Přehořov.79

## 8.5 Seznam grafů

- Graf 2.1: Osevní plochy v ČR od roku 1960 - 2015, nárůst plochy u řepky (ČSÚ in Bauer 2018).....14
- Graf 3.1: Změny ve využití krajiny v letech 1952, 1987, 1998 a 2018.....39
- Graf 5.1: Hlavní výsledky modelování – celé povodí .....59

- Graf 5.2: Množství vstupujících sedimentů do jednotlivých segmentů toku v povodí Odlezenského p. ....63
- Graf 5.3: Množství vstupujících sedimentů do úseků říční sítě vztažené na 1 km – Potvorovský potok.....70
- Graf 5.4: Poměrné rozložení vstupních sedimentů pro jednotlivé úseky toku v povodí stanice Přehořov .....79

## 8.6 Seznam zkratk

- BPEJ Bonitované půdně ekologické jednotky
- CHKO Chráněná krajinná oblast
- ČGS Česká geologická služba
- ČHMÚ Český hydrometeorologický ústav
- ČR Česká republika
- ČÚZK Český úřad zeměměřický a katastrální
- ČVUT České vysoké učení technické v Praze
- DIBAVOD Digitální báze vodohospodářských dat
- DMT Digitální model terénu
- EEA European Environmental Agency
- HPJ Hlavní půdní jednotka
- JTSK Jednotná trigonometrická síť katastrální
- LPIS Land Parcel Identification System
- MUSLE Modifikovaná univerzální rovnice ztráty půdy
- PřF UK Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze
- PSERA
- RUSSLE Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy
- SDR Sediment delivery ratio
- SOWAC-GIS Geographic Information System for Soil and Water conservation
- SWAT Soil & Water Assessment Tool
- USLE Univerzální rovnice ztráty půdy
- VGHMÚř Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad
- VÚMOP – Výzkumný ústav meliorace a ochrany půd
- WaTEM/SEDEM Water and Tillage Erosion Model/Sediment Delivery Model

- WMS – webová mapová služba
- ZM – základní mapa